1862

Roché



P. 5. 293 (1862) 5

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS

DE L'ACTION
DE QUELQUES COMPOSÉS
DU
RÈGNE MINÉRAL
SUR LES VÉGÉTAUX

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE A L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS,
POUR OBTENIR LE TITRE DE PHARMACIEN DE 1re CLASSE
LE 22 NOVEMBRE 1862,

PAR MARIE-EDME-ÉTIENNE-HENRI ROCHÉ

NÉ A TOURS

Lauréat de l'École Supérieure de Pharmacie de Paris
(Première Mention honorable 1859. — Mention bonorable unique 1860.)



PARIS
IMPRIMERIE PILLET FILS AINÉ
RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 5.

1862

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE

ADMINISTRATEURS.

MM. Bussy, directeur.
Guibourt, secrétaire, agent comptable
Chatin, professeur titulaire.

PROFESSEUR HONORAIRE.

M. Caventou.

PROFESSEURS.

MM.	Bussy	Chimie inorganique.
	Berthelot	Chimie organique.
	Lecanu	Pharmacie.
	Chevallier	Pharmacie.
	Guibourt	Histoire naturelle des médicaments.
	Chatin	Botanique.
	Valenciennes	Zoologie.
	Gaultier de Claubry	Toxicologie.
	Buignet	Physique.

PROFESSEURS DÉLÉGUÉS DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE.

MM. Moquin-Tandon.
Regnauld.

AGRÉGÉS.

MM. L. Figuier.
Réveil.
Lutz.
L. Soubeiran.

MM. Riche.
Bouis.
Grassi.

Nota. — *L'École ne prend sous sa responsabilité aucune des opinions émises par les candidats.*

A MES MAITRES

M. A. RICHE

Essayeur des Monnaies, Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie, etc.

(Laboratoire de la Faculté des Sciences de Paris. 1859-1860.)

M. A. CHEVALLIER

Membre de l'Académie impériale de Médecine et du Conseil de salubrité, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Officier de la Légion d'honneur, etc.

(Laboratoire particulier. 1860-1861.)

A M. CHATIN

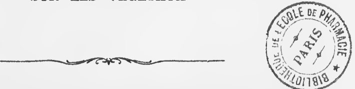
Membre de l'Académie Impériale de Médecine , professeur à l'École Supérieure de Pharmacie, chevalier de la Légion d'honneur, etc.

DE L'ACTION DE QUELQUES COMPOSÉS

DU

RÈGNE MINÉRAL

SUR LES VÉGÉTAUX



L'étude de l'action des composés inorganiques sur les végétaux est presque contemporaine, et déjà, grâce à son importance, elle est complète pour quelques-uns de ces corps.

L'action des divers agents gazeux composant l'atmosphère est analysée dans ses moindres détails et pour ainsi dire prévue; celle des composés du phosphore, du silicium, du potassium, du calcium, etc., a été élevée par les travaux de savants expérimentateurs à la hauteur de nos connaissances en physiologie et en chimie.

Une dernière classe de composés, par le peu d'abondance de ses éléments, par leur contact peu fréquent avec les végétaux, est restée un peu en arrière dans ces études; quelques savants cependant se sont attaché à fixer leur action sur les plantes; mais leurs travaux ne s'appliquant le plus souvent qu'à des cas particuliers, faits avec des vues différentes, semblant quelquefois se contredire, attendent un rapprochement qui permette de tirer de leur ensemble des données certaines sur l'action de ces composés.

C'est dans l'espoir de coopérer à ce résultat que nous avons entrepris ce travail sur l'action des composés de l'arsenic, de l'antimoine, de l'or, du

platine, du mercure, de l'argent, du cuivre, du bismuth, de l'étain, du plomb, du cobalt, du nickel, du fer, du zinc et du manganèse. Quelques-uns de ces corps, par leur emploi dans l'économie agricole pour préserver les céréales des divers parasites cryptogames qui les attaquent, d'autres par leur présence presque constante dans les engrais artificiels qu'ils servent à désinfecter, ont dû surtout attirer notre attention. Enfin un grand nombre d'entre eux se rencontrant souvent dans les plantes par suite de ces divers emplois et aussi de leur dissémination dans les terrains, donnent à l'étude de cette présence une importance toute particulière.

Nous avons, dans cette étude, passé en revue les travaux antérieurs faits sur l'action des minéraux précédemment nommés sur les végétaux ; nous avons cherché à les relier, et pour atteindre ce but nous avons dû étendre le champ des expériences, en même temps que nous répétions celles déjà faites pour apprécier leurs phases au même point de vue.

Nous avons recherché les effets généraux des composés sur les plantes, suivant l'espèce, la constitution, suivant la composition du sol, l'état de l'atmosphère.

Nous avons fait suivre cette première partie, comprenant l'étude des effets accessibles aux sens, par celle de la présence, qui est le résultat de l'action de ces mêmes composés à petite dose.

Enfin, nous avons terminé par quelques recherches physiologiques inspirées par ces études, sur le rôle des divers organes du végétal dans les fonctions d'absorption et d'excrétion.

Tel est le cadre que nous nous sommes tracé, heureux s'il nous est permis de croire que nous en ayons rempli quelques points, et si notre travail peut nous mériter l'indulgence de nos juges.

PREMIÈRE PARTIE

Des effets extérieurs de quelques Composés du Règne minéral sur les Végétaux.

Nous partageons l'étude des effets extérieurs des composés dont nous nous occupons en trois sections.

La première comprend les effets de chacun de ces corps sur les plantes en général.

La deuxième traite de l'influence de l'espèce, de l'âge et de la composition chimique du végétal sur les effets produits par chaque minéral.

La troisième s'occupe des conséquences résultant de la composition du sol, de l'humidité, de la température et de la lumière.

I

DES EFFETS GÉNÉRAUX.

Des effets des composés de l'arsenic. — L'arsenic et tous ses composés solubles sont très-nuisibles aux végétaux dans toutes les phases de leur existence. Les effets de l'arsenic métallique, par la prompte oxydation de ce corps à l'air, se rapprochent beaucoup de ceux de l'acide arsénieux, que nous allons décrire.

L'acide arsénieux, quoiqu'il ait été employé longtemps et qu'il le soit encore quelquefois pour la préparation des graines de céréales destinées à la semence, tant pour éviter les diverses maladies auxquelles ces plantes sont sujettes que pour les mettre à l'abri de l'atteinte des divers animaux, est tout à fait contraire à la germination. Pour peu que l'acide arsénieux

mis en contact avec les graines ne soit pas complétement décomposé par le sol auquel celles-ci ont été confiées, une partie et quelquefois toutes les semences périssent dans la terre sans s'être développées. La quantité nécessaire pour produire cet effet est extrêmement faible ; elle varie suivant la puissance annihilante du sol et l'espèce de graine soumise à l'action.

Si avant de semer les graines dans un terrain exempt d'acide arsénieux on les fait macérer dans une solution de cet acide, suivant le temps de la macération, suivant la concentration de la liqueur, les effets varieront pour la même espèce. Une solution étendue est généralement sans action si la macération ne dépasse pas quarante-huit heures, et si les graines sont mises ensuite dans un milieu favorable à la germination et à l'anéantissement de l'effet du composé arsénieux. Les solutions saturées, au contraire, sont défavorables à la germination, et il est rare que, même après un temps de macération fort court, les germes puissent se développer. Le blé qui, comme nous le verrons, est une des semences les plus rebelles à l'action du composé arsénical, semé dans un terrain calcaire après une macération de moins de trois heures, ne germe pas s'il ne survient une pluie qui, en détrempant le sol, favorise la transformation et le départ de l'acide qui souille la graine.

L'action de l'acide arsénieux n'est pas moins funeste à la vie des plantes adultes qu'à la germination de leurs semences. Quelques végétaux placés dans les dernières familles naturelles résistent seuls à son action ; tous les autres subissent sa fatale influence dès que la solution en contact est quelque peu concentrée et que l'action a quelque durée.

Lorsque l'on arrose les racines des plantes avec une solution d'acide arsénieux assez étendue pour que la mort des sujets n'en trahisse pas immédiatement l'action, l'absorption peut souvent encore être démontrée par l'état physique du végétal. En général, il est débile, il perd promptement les feuilles qu'il avait au moment où a eu lieu le contact ; il y a souvent avortement d'une partie des fruits. Ce fait, que nous avons pu constater comparativement entre du blé arseniqué et du blé semé dans le même terrain à la même époque, avait déjà été observé par M. Girardin[1]. Il avait

1. Nouvelles expériences sur le chaulage du blé. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 1140. 1845.

reconnu que le chaulage à l'arsenic était un des moins favorables à la production. Leuchs [1] a cru trouver une diminution dans le poids des parties solides des plantes poussées dans une cave et arrosées avec des solutions extrêmement diluées; mais les chiffres qu'il en a donné ne paraissent nullement conformes à la conclusion qu'il en a tiré. Quelques expérimentateurs ont cependant indiqué l'emploi de l'acide arsénieux à petites doses comme engrais excitant. Lampadius, [2] après avoir annoncé que le seigle poussait parfaitement dans le voisinage des lieux où l'on traite la mine de cobalt, l'employa, suivant Schüebler [3], comme engrais, et Vever [4] a constaté l'accélération de la végétation du seigle dans un terrain où il en avait répandu un gramme par mètre carré. Il est plus probable que dans ce cas on dut à la composition du sol l'annihilation du poison, et nous nous appuyons pour étayer cette opinion sur des expériences répétées sur le seigle avec des doses diverses d'acides et assez fortes pour ne pas être complétement anéanties par la composition du sol. Lorsque la végétation n'a pas été complétement arrêtée, nous avons toujours obtenu des pailles beaucoup plus frêles et des épis bien inférieurs à ceux recueillis dans le même terrain exempt de ce composé à l'état libre. Le végétal qui a été arrosé avec une solution concentrée d'acide arsénieux perd bientôt sa turgescence; les feuilles se ramollissent en commençant par l'extrémité supérieure du limbe, l'effet gagne de proche en proche, le pétiole s'affaisse, et la tige elle-même, chez les plantes herbacées, s'incline. Cet effet se produit généralement en deux jours, la plante jaunit ensuite et des taches noirâtres s'étendent çà et là. Les feuilles inférieures sont les premières attaquées, et aussi les plus jeunes qui se trouvent à l'extrémité des rameaux. Les nervures jaunissent et la mort gagne peu après le parenchyme. Les fleurs sont atteintes après les feuilles,

1. *Ann. der Physik. von Poggendorf*, 1830, n° 11, p. 488. Cité par de Candolle. *Physiologie végétale*, p. 1331.

2. Cité par Soubeiran. *Journal de Pharmacie*, t. IV, p. 109. 1843.

3. Cité par Liebig. *Chimie organique appliquée à la physiologie végétale*, trad. par Ch. Gerhardt, p. 77. 1844.

4. Dissertatio politico-medico inauguralis qua inquiritur: num publicæ sanitati nocere possint venena metallica, quibus conserantur ægrè, ad occidenda animalia nociva, etc. Groningue.—Rapport de E. Soubeiran à la Société de pharmacie. *Journal de Pharmacie*, t. IV, p. 109. 1843.

elles se fanent, leurs couleurs s'altèrent ; les pétales de la rose à cent feuilles se tachent de pourpre [1], la corolle bleue du Campanula persicifolia devient verte [2]. L'évolution des bourgeons est arrêtée dès l'apparition de ces phénomènes.

Les effets de l'acide arsénieux ne sont pas moins funestes au végétal dont les feuilles ont été en contact avec sa solution. Des gouttes de celle-ci, répandues sur les feuilles, y forment, au bout de vingt-quatre heures, des taches brunes causées par la destruction de la vitalité dans le parenchyme atteint. Après quelque temps ces parties tachées sèchent et prennent l'aspect des parties atteintes par la grêle. Si les gouttes sont un peu fortes, il y a résorption, et la mort de la feuille, quelquefois même de la tige adjacente, en est la conséquence.

En trempant l'extrémité d'un rameau secondaire d'une plante adhérente au sol dans une solution concentrée on obtient promptement la mort du sujet auquel ce rameau appartient. On voit alors d'un côté de la tige une longue ligne nécrosée irrégulière s'étendant en certains endroits sur tout son périmètre.

Enfin, l'acide arsénieux introduit en nature dans la tige se dissout dans la séve en contact, et, entraîné alors dans la circulation, détruit le végétal. Ses effets sont différents suivant l'endroit où il est placé et suivant la quantité. Mis au centre des bulbes des Liliacées, la mort a lieu aussi promptement que par l'absorption de la solution par les racines. Marcet, ayant introduit environ un gramme d'acide arsénieux pulvérisé et humecté avec une petite quantité d'eau dans le centre de la tige d'un lilas ayant vingt-sept millimètres de diamètre, vit les feuilles se flétrir au bout de huit jours et l'arbre mourir complétement en deux mois. Placé sous l'écorce d'un second lilas, le composé ne porta la mort que dans deux branches voisines. Lorsque la dose est trop faible relativement à la grandeur de l'arbre, l'effet est tout local : les tissus formant les parois de la plaie sont désorganisés, mais seulement dans une petite étendue.

1. Marcet. De l'action des poisons sur le règne végétal. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIX, p. 200. 1825.

2. Jœger. *Dissertatio inauguralis, de affectibus arsenici in varios organismos*. Tubingen, 1808. Cité par Candolle. *Physiologie végétale*, p. 1330.

Dans les plantes qui ont succombé à l'action de l'acide arsénieux, on observe une coloration brune plus ou moins intense des tissus internes de la tige, coloration beaucoup plus sensible sur les faisceaux vasculaires et en particulier au point d'insertion des feuilles. On voit facilement, à l'aide du microscope, de petites lacunes dans le tissu attaqué, provenant de l'atrophie de quelques cellules qu'on trouve appliquées sur les parois [1].

L'acide arsénieux, en détruisant les phénomènes de vie chez les végétaux, détruit aussi ceux d'excitabilité. L'effet sur ceux-ci est beaucoup plus prompt.

Le pouvoir de divergence observé par Johnson [2] est anéanti par son absorption.

L'écoulement des sucs qui a lieu après la rupture des tiges chez les Euphorbiacées et les Synanthérées n'a pas lieu en brisant la tige d'une de ces plantes arrosées avec l'acide arsénieux.

Lorsque l'on plonge une tige de Berberis en fleur dans une solution concentrée d'acide arsénieux, dès que la liqueur a atteint la fleur, l'irritabilité des étamines est détruite, et au bout de quelque temps ces organes deviennent roides et ne peuvent être changés de place. Il en est de même lorsque la solution est introduite directement dans la corolle; mais alors l'anéantissement de l'excitabilité est plus lent à se produire.

Les mêmes effets destructeurs de l'excitabilité se font sentir sur les feuilles du Mimosa pudica mises en contact soit directement, soit par la tige, avec l'acide arsénieux; elles se contractent d'abord, les folioles se ploient d'une manière inusitée mais ne s'épanouissent pas; elles deviennent roides et immobiles, le doigt ne les plie que difficilement [3].

L'acide arsénique, les arsénites et les arséniates alcalins produisent sur les individus du règne végétal des effets identiques à ceux de l'acide arsé-

1. Chatin. *Études de physiologie végétale faites au moyen de l'acide arsénieux.* Mémoire lu à l'Académie des sciences, le 6 janvier 1845. Paris, 1848.

2. Sur l'existence générale d'une propriété nouvellement observée dans les plantes et sur son analogie avec l'irritabilité des animaux. *Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. IV, p. 321. 1835.

3. Macaire Princep. Mémoire sur l'influence des poisons sur les plantes douées de mouvements excitables. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXXIX, p. 85. 1828.

nieux. Nous ne répéterons pas pour chacun l'exposé des phénomènes déjà décrits; nous allons seulement essayer d'établir le degré d'intensité avec lequel agit chacun de ces composés. C'est surtout dans le temps qu'ils mettent à produire les mêmes phénomènes que l'on trouve une notable différence.

Des jacinthes poussées dans l'eau, placées dans les mêmes conditions et introduites dans des solutions au même titre de ces divers composés, ont présenté les premiers phénomènes morbides, c'est-à-dire le ramollissement des tissus de l'extrémité des feuilles après les temps suivants :

Acide arsénieux.	quatre jours.
Acide arsénique.	un jour et demi.
Arsénite de potasse.	six jours.
Arsénite de soude.	six jours.
Arséniate de potasse.	quatre jours.
Arséniate de soude.	quatre jours et demi.

Comme on le voit, l'action de l'acide arsénique est beaucoup plus prompte; c'est d'ailleurs ce qui avait été observé par Gœppert [1] et par M. Filhol [2].

L'arsénite de cuivre (vert de Scheele) est tout à fait contraire à la germination; il doit cette propriété aux composés solubles qu'il retient après sa fabrication.

C'est aussi peut-être à cette cause que l'on doit attribuer l'action funeste de l'arséniate de plomb sur la germination [3].

Le sulfure d'arsenic paraît seul devoir être excepté de cette grande classe de composés toxiques. En effet, Davies Gilbert ayant annoncé que les Légumineuses croissaient dans un terrain de Cornouailles contenant cinquante

1. Sur l'irritabilité des filets des étamines du Berberis vulgaris. *Annales des Sciences naturelles*, 1re série, t. XV, p. 69. 1828. — Linnæa juillet, 1828.

2. Études sur l'absorption et l'élimination de l'arsenic dans les végétaux. *Journal de Chimie médicale*, t. XXIV, p. 548.

3. Vogel. Sur la germination des graines dans différentes substances minérales, notamment dans les terres, les oxydes métalliques et dans les sels. *Journal de Pharmacie*, 1re série, t. XVI, p. 405.

pour cent d'arsenic sulfuré, le docteur Daubeny [1] s'assura qu'une petite quantité de ce sulfure dans le sol était sans résultat fâcheux sur la moutarde blanche, l'orge et la fève. Depuis, M. Louyet [2] a obtenu du blé, de l'orge, de l'avoine, du cresson alénois, des pois dans un terrain contenant dix-neuf grammes de réalgar pour seize décimètres carrés.

L'action de l'hydrogène arsénié sur les végétaux a été étudiée par Jœger [3] et par le professeur Targioni-Tozzetti [4]. Celui-ci ayant placé dans une atmosphère artificielle composée de parties égales d'air et d'hydrogène arsénié un Fuchsia globosa et un Coronilla emerus, constata après un certain temps la mort instantanée de ces plantes, rendue évidente par la coloration jaune des feuilles. Il pense que l'effet n'a lieu que lorsque l'air est complétement absorbé par le végétal et qu'alors seulement le gaz agit.

Des effets des composés de l'antimoine. — Malpighi [5] le premier expérimenta l'action de l'antimoine sur la végétation ; il constata son effet actif sur la germination, et en même temps son effet nuisible par un contact prolongé avec la plante.

Les composés solubles de l'antimoine, par la façon dont ils se comportent en présence de l'eau, ne peuvent être employés à l'étude de l'action de ce métal sur les végétaux. L'émétique est le seul dont la solution puisse servir à cet usage.

M. le professeur Bouchardat [6] a classé l'émétique à côté des composés arsénicaux pour l'effet, qu'il juge intermédiaire entre celui de l'acide arsénique et celui de l'acide arsénieux. Tout en admettant l'émétique comme très-

1. *Écho du Monde savant*, p. 168. 1836.

2. Mémoire sur l'absorption des poisons métalliques par les plantes. Bruxelles, 1841.

3. Einige beobachtungen über die Wirkungen verschiedener Gasarten auf Pflanzen. Buchners, *Repertor. f. d. Pharmacie*, B. 22, p. 169. Cité par Gœppert. De acidi hydrocyanici vi in plantas commentatio. Uratislativiæ.

4. Expériences qui excluent la possibilité de l'absorption de l'acide arsénieux par les plantes saines et vivantes. *Annales des sciences naturelles*, 3e série, t. V, p. 177. 1846.

5. *De seminum vegetatione*, p. 106, in Opera omnia. Lugduni Batavorum, 1687.

6. Recherches sur l'action des poisons et substances diverses sur les plantes et sur les animaux qui vivent dans l'eau. 1843. In. Recherches sur la végétation appliquées à l'agriculture. Paris, 1846.

contraire au développement de la végétation, cependant il nous semble que son action est bien moins puissante que celle de ces acides. En effet, le blé germe et se développe dans un sol incapable de neutraliser l'action de ce composé (sable lavé et calciné) humecté avec une solution d'émétique au centième; des jacinthes dont les racines baignent dans une solution au même titre sont bien arrêtées dans leur croissance, mais les boutons développés au moment du contact n'en fleurissent pas moins quinze jours après. Non-seulement une quantité plus grande est nécesaire pour produire des effets destructeurs, mais encore il faut un temps d'action plus long. Vever a vu le sarrasin germer et se développer dans un terrain en contenant encore à l'état libre après la récolte. L'émétique doit être rangé parmi les substances nuisibles à la végétation; mais cependant il faut admettre une grande différence entre ses effets et ceux des composés arsénicaux.

Lefébure [1] a constaté que l'oxyde blanc d'antimoine était impropre à la germination. Le kermès, le soufre doré ne sont pas plus favorables d'après Vogel; le sulfure seul semble moins nuisible, car celui-ci annonce que la germination y a lieu avec peine. Lefébure l'a obtenue aussi, et nous avons pu faire germer et végéter pendant quelque temps quelques plantes robustes, des Graminées, des Composées et des Crucifères dans cette substance.

Des effets des composés de l'or et du platine. — Nous signalerons ici comme mémoire les expériences de M. Bouchardat sur l'action des sels d'or et de platine; la rareté de ces composés surtout à l'état de combinaison avec les métalloïdes nous dispensent d'entrer dans le détail d'effets plus ou moins identiques à ceux que nous avons cités plus haut. D'ailleurs, nous ne pourrions que répéter ce qu'a dit ce savant expérimentateur, n'ayant fait aucun essai avec ces substances.

Des effets du mercure et de ses composés. — Le mercure métallique, par sa volatilisation à la température ordinaire, a une action toute particulière sur les végétaux. Seul parmi les métaux nous avons à l'étudier, agissant à l'instar des gaz sur la partie aérienne des plantes; mais avant de considérer cet effet nous envisagerons l'action directe de ce corps sur les racines et les diverses parties des végétaux.

1. *Expériences sur la germination des plantes*, Strasbourg, an IX.

Des graines de haricots, de blé, de cresson, semées dans une légère couche de sable humecté avec de l'eau distillée, recouvrant du mercure métallique bien pur, germent et végètent si les vases qui les contiennent se trouvent dans un milieu dont l'air soit agité; si, au contraire, les vases, par leur forme élevée, garantissent la plante des courants d'air tout en étant ouverts par la partie supérieure, la graine germe, mais peu de temps après la plante qui en provient périt. Les mêmes résultats ont lieu lorsque les graines sont placées sur le métal même et entretenues dans un état constant d'humidité au moyen d'eau distillée. Alors, par un fait physiologique déjà observé [1], la radicule des haricots, quoique beaucoup moins dense que le métal, s'enfonce verticalement dans le mercure et s'y maintient au moyen d'une excrétion du végétal, qui ne tarde pas à se combiner avec le mercure environnant. Un mois après la germination la plante est encore dans un état satisfaisant de végétation. Cependant les premières racines développées ont été détruites et remplacées par de nouvelles, qui le sont elles-mêmes bientôt à leur tour. Ce phénomène a toujours été observé chez les Légumineuses, mais nous n'avons pu le constater sur le blé et sur les racines de quelques autres Graminées.

Marcet ayant voulu vérifier le fait de la mort des arbres par l'introduction du mercure dans leur substance, fit au tronc d'un cerisier un trou allant jusqu'à la moelle, y versa quelques gouttes de mercure et ferma hermétiquement l'ouverture. Au bout d'un an l'arbre n'avait nullement souffert. De Candolle [2] rapporte que de Saussure retrouva, en coupant un arbre sain, du mercure qu'il y avait mis trente ans plus tôt et qu'il y avait oublié. De ces faits il semble résulter que le contact direct de ce métal est sans influence bien sensible sur les végétaux. Mais s'il en est ainsi pour le mercure liquide, il n'en est pas de même, comme nous l'allons voir, du mercure à l'état de vapeur. Probablement que les sucs végétaux, incapables d'attaquer le métal en masse pour en former des sels qu'ils transporteraient dans le sujet, agissent alors, grâce à la division extrême de la molécule métallique.

1. Durand, Mémoire sur un fait singulier de la physiologie des racines, leur pénétration dans le mercure. —*Annales des sciences naturelles*, 3e série, t. III, p. 210. 1845.

2. *Physiologie végétale*, p. 1333. Paris, 1832.

Deimann, Paats von Troostwiek et Lauwerenburgh[1] placèrent des vesces, des fèves et une branche de Spirœa salicifolia sous une cloche de verre dont les bords appuyaient sur une surface couverte de mercure de manière à intercepter toute communication avec l'air extérieur. Après vingt-quatre heures des taches fauves et brunes se montrèrent, et les plantes séchèrent et moururent en peu de temps. Cette expérience, qui la première prouva l'action des vapeurs mercurielles, fut répétée souvent depuis et avec plein succès. Quelques végétaux monocotylédonés semblent cependant devoir se soustraire à cette action. Des jacinthes mises dans les mêmes conditions le 30 janvier étaient en pleine fleur, et avaient autant de vigueur le 15 mars que celles qui avaient passé le même temps sous une cloche ne renfermant pas de mercure. Des oignons sont restés du 1er au 20 mai sous une cloche sur la cuve à mercure sans souffrance apparente, tandis que des Pelargoniums et quelques autres plantes dicotylédonées avaient leur partie aérienne complétement morte après huit jours ; retirées ensuite, quelques jets s'élevèrent du collet de la racine.

Gœppert tenta l'action des émanations mercurielles sur l'excitabilité végétale. Il renferma, dans un vase de verre contenant du mercure, un rameau de Berberis garni de feuilles et de fleurs trempant dans un verre d'eau ; au bout de quelques heures des taches brunes s'observèrent sur les feuilles et les fleurs ; avant quarante-huit heures les feuilles étaient tombées, tandis que les étamines ne se détachèrent que plus tard, en conservant jusqu'à l'instant de leur chute toute leur irritabilité.

Les composés solubles du mercure agissent de façon différente, suivant qu'ils sont plus ou moins facilement réductibles par les matières organiques ; tous sont extrêmement nuisibles à la végétation.

Les graines qui ont macéré quelques heures dans les solutions mercurielles neutres sont impropres à la germination.

Lorsque l'on sème des graines de divers végétaux dans du sable lavé et calciné, humecté avec une solution de composé mercuriel, il n'y a pas traces de germination si la solution contient plus d'un millième de bichlorure et plus d'un dix-millième de cyanure ; dans ce cas les cotylédons deviennent

1. *Journ. der Chemie*, von Scherer, t. I, p. 668, cité par Gœppert, in *De vi acidi hydrocyanici*, etc.

noirs. Quand la solution est plus étendue, on voit quelques grains germer et se développer quelque temps; mais les racines, contre leur ordinaire; rampent à la surface du sol et ne s'introduisent pas dans le milieu infecté. L'action répulsive du poison semble l'emporter sur les propriétés physiologiques des racines. Nous avons remarqué que du blé germé dans un sol arrosé avec des solutions de sublimé très-étendues, s'élevait une tige dont l'extrémité des feuilles était dépourvue de chlorophylle, par conséquent blanche, ce qui n'empêchait pas la plante d'être longtemps dans de bonnes conditions de végétation. Quand on fait tremper dans des solutions mercurielles les racines intactes de plantes ayant végété dans l'eau, on observe un aspect différent suivant le sel employé. Si elles ont été soumises à l'influence d'une solution de bichlorure, les racines deviennent opaques et restent fort longtemps d'un beau blanc mat; si au contraire elles ont plongé dans une solution de cyanure, elles deviennent tout à fait transparentes et ne tardent pas à se colorer en brun.

Les plantes arrosées avec des liqueurs mercurielles, même peu concentrées, périssent bientôt. La mort gagne régulièrement le végétal de bas en haut; l'effet est beaucoup plus facile à observer par sa lenteur même que sur les végétaux empoisonnés par les arsénicaux. Les feuilles, et particulièrement leurs nervures, se couvrent de taches d'un jaune brunâtre, souvent avant que le ramollissement des tissus soit manifeste. L'action a lieu aussi promptement, quel que soit le sel, lorsque la dose est la même. Des efflorescences blanchâtres, insolubles dans l'eau, se remarquent sur les feuilles des plantes qui, ayant été privées d'eau, sont arrosées avec une solution concentrée de bichlorure de mercure. Les fleurs sont attaquées après les feuilles, leur couleur se dénature, les fleurs bleues et rouges se teintent de nuances d'un noir pourpre. Les fleurs odorantes (jacinthes, héliotropes, juliennes) perdent tout à fait cette propriété. Si la dose du sel n'est pas suffisante pour produire la mort du végétal, cependant elle peut faire sentir quelquefois son action sur les fruits et produire alors leur avortement. Le duc de Manvers ayant employé des bois immergés dans des solutions mercurielles pour la construction des serres du parc de Thoresby, laissa ces bois un an sans être peints. Trois ceps de vigne, dont les verges couraient sur

ces bois, périrent; les fruits de sept autres, moins gravement atteints, avortèrent complétement, et ceux des divers végétaux qui se trouvaient dans cette serre eurent plus ou moins à souffrir. Deux ans après, les vignes en ressentaient encore les effets [1].

L'excitabilité végétale n'a pas moins à redouter de ces composés énergiques, malgré qu'ils soient moins prompts et moins violents dans leurs résultats que les solutions arsénicales. Les mouvements des Mimosas sont en quelque sorte arrêtés subitement et leurs folioles deviennent rigides [2], ainsi que les filets des étamines du Berberis vulgaris.

L'oxyde rouge de mercure, obtenu par la calcination du nitrate, bien lavé, remplit un rôle intermédiaire entre les composés solubles et les composés insolubles du mercure. Sa faible solubilité rend ce corps contraire à la germination, et si quelquefois quelques gemmules s'y développent, leur végétation est de courte durée. Ce composé, mélangé au sol, attaque la graine; les cotylédons noircissent, et le point d'insertion de ceux-ci sur la plantule se remarque par une teinte plus foncée.

L'oxyde jaune n'est pas différent dans ses effets.

Le protochlorure, quel que soit le procédé par lequel il a été préparé, est moins énergique que l'oxyde; mais cependant la mort survient généralement peu de temps après la germination des graines qu'on lui a confiées.

Le cinabre seul semble exempt de ces effets destructeurs. Mélangé en diverses proportions à un sol incapable de réagir sur lui, non-seulement il n'arrête pas la germination, mais encore la végétation de la plante ne semble pas souffrir. Nous devons faire remarquer que, pour le mercure comme pour l'arsenic, les sulfures sont les seuls composés dont l'action sur les plantes ne soit pas immédiatement mortelle.

Des effets des composés de l'argent. — Le nitrate d'argent est le seul de ces composés dont l'action sur les végétaux ait été examinée, et aussi le seul avec lequel nous ayons expérimenté. Un sol arrosé avec une solution contenant plus d'un millième de ce sel, est impropre à la germination de la

1. Sur l'effet de la solution de sublimé corrosif employée pour la conservation des bois. *Gardener's Magazine; Journal d'agriculture pratique*, p. 142. 1842-43.

2. Mulder. Expériences sur l'action des poisons sur les plantes dites sensibles et quelques autres, *Bulletin des sciences naturelles*, t. XIV, p. 77. 1828.

plupart des semences. Celles qui y germent ont souvent leur tigelle développée, tandis que leur radicule reste à l'état rudimentaire. Dans les cas où les racines se développent, les parties qui en sont exposées à la lumière se colorent plus ou moins en brun. On remarque chez les Graminées poussées en ce milieu une partie des tiges blanches et dépourvues de chlorophylle, comme à celles crues dans les solutions mercurielles.

Si l'on soumet une jacinthe poussée dans l'eau à l'action d'une solution au centième d'azotate d'argent, et qu'on l'expose au soleil, on voit bientôt les racines devenir noires; puis, peu à peu, une teinte violacée envahit tout le végétal et particulièrement la hampe; tant que la plante reste à la lumière vive, même plusieurs jours, elle ne perd pas sa turgescence; mais si on la porte à l'obscurité en un temps extrêmement court, les feuilles et la hampe se ramollissent, se couvrent de taches jaunâtres, et la vie abandonne bientôt le sujet. Vogel[1] a vu la tige d'une Malva sylvestris, plongée dans une sotion de ce sel, devenir d'un gris métallique.

Ce sel arrête aussi l'excitabilité chez les plantes; mais son effet est beaucoup plus faible que celui des composés que nous avons étudiés.

Des effets du cuivre et de ses composés. — Le cuivre est le premier métal dont nous ayons à constater l'utilité en agriculture. Non-seulement par le lavage des grains avec la solution de ses sels on diminue les chances de maladie du froment, mais on augmente encore le rendement de cette précieuse céréale, ainsi que les agriculteurs le constatent tous les jours et comme l'a prouvé M. Girardin dans les expériences déjà citées. Si, à très-petite dose, les sels de cuivre sont avantageux à l'agriculture, à dose même faible, ils sont très-nuisibles; aussi doit-on être fort réservé dans leur emploi.

La limaille de cuivre, par sa facile oxydation à l'air et par la facile transformation de ses oxydes en sels solubles sous l'influence de la végétation, n'est pas favorable à la germination; les monocotylédones seules y germent; les sujets qui en proviennent sont toujours étiolés et meurent le plus souvent au bout de peu de temps.

1. Sur l'absorption des sels par les plantes vivantes et sur le soufre dans les plantes. *Journal de pharmacie*, t. III, p. 373.

Les composés solubles du cuivre ont tous une action extrêmement semblable, quel que soit le corps auquel ce métal est combiné ; aussi ne nous occuperons-nous que de celle du sulfate de cuivre, qui peut être considéré comme type des actions de ces divers sels.

Une remarque doit être faite : en général, l'action des composés arsénicaux diminue d'intensité à mesure que l'organisation des végétaux devient plus simple ; le contraire semble avoir lieu pour les composés du cuivre. C'est cette propriété qui les rend si utiles en agriculture.

Le sulfatage des grains consiste à laisser ceux-ci baigner un temps plus ou moins long dans une solution plus ou moins étendue de sulfate de cuivre. La solution au centième en poids est d'un bon usage. Après y avoir laissé séjourner les semences trois à quatre heures, on les laisse ressuer vingt-quatre heures en tas avant de semer. Par cette pratique, les divers parasites végétaux si contraires à cette graminée sont détruits dans leur germe, et en même temps l'action végétative est excitée par cette petite quantité de sel qui entoure l'embryon dans le sol. Le rendement en grain est plus considérable, et, en général, on remarque une avance dans la végétation, surtout aux premiers temps de la vie de la céréale.

Cette propriété destructive des plantes cellulaires par les sels de cuivre avait fait proposer, par M. Jobard[1], leur emploi à petite dose pour préserver les monuments publics de l'envahissement des cryptogames qui en salissent l'extérieur. Il avait remarqué que l'eau qui découlait d'un obélisque de bronze élevé à Munich conservait le granit qu'elle mouillait dans un état de fraîcheur contrastant avec l'altération des parties voisines de la pierre, sur lesquelles l'eau chargée de cuivre ne coulait pas. M. Chatin[2] a constaté la destruction de l'Oïdium tuckeri par l'emploi de solutions étendues de sels de cuivre.

Toutes les fois que le temps d'immersion des graines dans la solution cuprique n'est pas trop prolongé, quel que soit le degré de saturation de la dissolution, la germination a lieu, car alors le sel qui souille la graine, en

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XIX, p. 1405. 1844.

2. Recherches expérimentales relatives à l'action qu'exercent sur la végétation les sels, etc., employés à équivalents chimiques égaux. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXVIII, p. 269. 1854.

présence des divers corps formant le terrain, est transformé en sel insoluble, et l'action se trouve, sinon anéantie, du moins extrêmement tempérée.

Le sol étant sans action sur la solution, la germination a lieu quand la liqueur avec laquelle le terrain a été arrosé ne contient pas plus d'un dix-millième de sel; et le blé germe dans un terrain arrosé avec une solution au millième.

Les plantes germées dans les conditions extrêmes sont généralement étiolées; leurs racines se développent mal; quand elles existent, elles sont colorées en rose ou en brun; ces mêmes colorations s'observent sur le reste du végétal. Les graminées perdent souvent les premières feuilles développées.

La transformation du sel soluble en composé insoluble par les terrains de culture en général fait que l'on peut répandre des quantités assez grandes de ce sel sur le sol, sans que la végétation en souffre beaucoup. Cependant M. Chatin [1] a obtenu des résultats fâcheux relativement à la production de la pomme de terre par l'emploi de ces sels.

Les plantes arrosées avec les solutions cupriques non concentrées, lorsque cet arrosage n'est pas renouvelé, ne semblent pas souffrir extérieurement; et les phénomènes qui en résultent étant du domaine de l'analyse, nous aurons à les examiner en autre lieu. Si les arrosages sont fréquents, si les solutions qu'on emploie sont concentrées, les plantes qui y sont soumises offrent bientôt toutes les apparences de la souffrance et de la maladie. Les feuilles s'inclinent, celles qui sont les plus rapprochées des racines les premières. Des sillons, semblables à la traînée que laissent les insectes sur les végétaux qu'ils dévorent, se montrent sur la tige et sur les feuilles. Ces sillons, formés par la désorganisation des cellules sous-jacentes, s'entourent d'une auréole brune, et après avoir conservé quelque temps une teinte verte contrastant avec la couleur sombre environnante, deviennent d'une teinte rose toute particulière et identique à celle du sous-oxyde de cuivre obtenu par la glycose. La mort, après avoir envahi les feuilles, gagne

1. Études expérimentales sur l'action des sels, des bases, des acides et des matières organiques sur la végétation. *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXV, p. 786. 1852.

bientôt les fleurs, et chez celles dont le calice est coloré, la teinte de la fleur disparaît souvent pour faire place à la couleur rose.

Lorsque les solutions sont très-concentrées et versées sur des végétaux ayant besoin d'eau, avant que la mort n'ait gagné le végétal, on voit apparaître çà et là, et particulièrement aux divers points d'insertion, des efflorescences bleuâtres. Ces mêmes colorations bleues se voient de même disséminées dans l'intérieur du végétal, et ces points colorés chez les plantes herbacées sont beaucoup plus nombreux dans le voisinage du tissu médullaire que dans les autres parties.

Aucun végétal, quelle que soit sa taille, n'échappe à cette action funeste qui se fait sentir aussi sur l'excitabilité des étamines du Berberis et des feuilles du Mimosa.

Les composés insolubles du cuivre, oxydes, carbonates, sulfures, par leur facile transformation sous l'action combinée de la végétation et de l'air en sels solubles, sont aussi nuisibles à la végétation et à la germination que ceux-ci. Tous nos essais pour obtenir la germination dans ces substances diverses, n'ont abouti qu'à obtenir quelques sujets de froment plus ou moins étiolés, et qui ne tardaient pas à périr. Leur action était la même sur les plantes qu'on y transportait, ou lorsqu'on ajoutait ces matières au terrain où elles végétaient.

Des effets des composés du bismuth. — L'insolubilité des sels neutres de bismuth dans l'eau distillée empêche d'étudier l'action de ces sels sur le règne végétal.

Quant à ses composés insolubles et au métal proprement dit, Achard [1], par ses expériences, prouva leur innocuité pour les plantes.

Des effets des composés de l'étain. — Marcet tenta l'action du chlorure d'étain sur une branche de Rosier trempant dans la dissolution de ce sel. Wiegmann [2] soumit à son action des plantes entières dont les racines, enfouies dans la terre, n'avaient nullement été endommagées. Mais la même raison qui rend l'emploi des sels de bismuth et d'antimoine impropres à

1. Sur la nutrition des végétaux et sur les altérations qu'épouvent différentes substances par la végétation. *Mémoires de l'Académie de Berlin*, p. 49. 1790-1791.

2. Influence des dissolutions chimiques sur les plantes. *Bulletin des sciences naturelles*, t. XVII, p. 372. 1829.

l'étude de l'action de ces métaux sur les plantes, se retrouve ici tout entière; car on sait que toutes les dissolutions des sels d'étain sont acides, et l'on n'ignore pas l'action prompte et funeste des acides sur la végétation.

Parmi les composés insolubles de ce métal, l'acide stannique n'est pas tout à fait contraire à la germination, et nous y avons vu la croissance de quelques végétaux. Ce fait avait déjà été constaté par Achard, qui avait signalé l'extérieur languissant des plantes végétant dans ce milieu.

Des effets des composés du plomb. — Les composés solubles du plomb, par leur affinité à former avec l'acide carbonique un composé insoluble, sont moins nuisibles à la végétation que ceux des autres métaux que nous venons d'étudier. Pour employer l'expression de Raspail[1], nous dirons qu'ils sont asphyxiants; en effet, répandus sur le sol, ils absorbent l'acide carbonique que celui-ci contient, et viennent agir, s'ils ne sont pas complétement transformés, sur celui des vaisseaux de la plante qu'ils obstruent bientôt. Leur action physiologique se double d'une manière très-évidente de l'action mécanique. On voit les plantes, sous l'influence de ces sels, ne pas sembler en souffrir dans les espèces où la nutrition n'a pas exclusivement lieu par les racines, ou qui sont douées de racines adventives.

Quel que soit l'acide combiné à l'oxyde de plomb, les effets produits sont les mêmes; aussi ne détaillerons-nous que ceux de l'acétate de plomb.

Les semences plongées moins de quarante-huit heures dans une solution saturée de ce sel et confiées ensuite à la terre, ne paraissent pas souffrir dans leur germe, et la végétation n'est pas retardée. Quand l'on confie des graines à un terrain arrosé avec cette même solution, quelques espèces appartenant aux familles monocotylédonées germent encore, s'il reste de ce sel à l'état libre dans le sol, mais leur végétation est languissante et ne tarde pas à s'arrêter.

Les plantes arrosées avec la solution d'acétate de plomb dépérissent assez vite; mais, en général, les phénomènes extérieurs occasionnés par l'absorption du poison se bornent à la base du végétal et ne gagnent que fort lentement ses extrémités.

Wiegmann ayant arrosé un saule avec une solution de soixante grammes

1. *Nouveau système de physiologie végétale*, t. II, p. 97. Paris, 1837.

d'acétate de plomb, vit la croissance de cet arbre l'emporter sur celle de ses voisins. Il explique ce fait par la fixation du plomb au moyen de l'acide carbonique excrété par les racines du végétal et par le rôle excitant d'une très-faible quantité de sel resté à l'état libre.

Les fleurs bleues de la Viola odorata et de l'Aquilegia vulgaris deviennent vertes bien avant la mort de la tige qui les supporte, lorsque celle-ci trempe dans une solution de ce sel [1].

L'acétate de plomb se combine avec l'enveloppe extérieure de la plante qui y est plongée, et produit quelquefois la fixation de teintes fort belles, comme l'a remarqué Macaire [2] sur les Mercuriales annuelles et vivaces.

Les mouvements excitables des plantes ne tardent pas à disparaître sous l'influence de ces sels.

De Humboldt, dans ses Aphorismes [3], exaltait les propriétés singulières des oxydes de plomb sur la germination, et les expliquait par l'action de l'oxygène que ceux-ci contenaient. Suivant lui, la germination des graines confiées à ces substances était hâtée et devançait beaucoup celle des semences mises en terre. Depuis, Plenck [4] et Lefébure publièrent le même fait. Ce dernier l'expliquait en considérant les oxydes comme des corps propres à servir d'intermédiaire en absorbant l'oxygène de l'air et le cédant ensuite au végétal. Les expériences de Einhof [5] l'amenèrent à un résultat nul, et par conséquent beaucoup plus conforme aux théories actuelles de la chimie, les oxydes de plomb n'étant pas réduits ni transformés par l'acte de la végétation, et ne servant pas de réservoir à l'oxygène. Cependant, voulant vérifier l'exactitude du fait, au mois de février et au mois de mai, nous semâmes dans de la litharge, dans du minium, dans du sable et dans une bonne terre de jardin, du blé, de l'orge, du cresson,

1. Macaire Princep, *loc. cit.*

2. Mémoire pour servir à l'histoire des assolements. *Annales de chimie et de physique*, t. LII, p. 225.

3. Floræ Fribergensis specimen...; accedunt aphorismi ex doctrina physiologiæ chemicæ plantarum. Berolini, 1793.

4. Physiologia et pathologia plantarum, p. 43. Viennæ, 1794.

5. Mémoire sur la végétation, traduit par Vogel. *Annales de chimie*, t. LV, p. 309. An XIII.

des haricots, des graines d'Hélianthus. Les pots étant arrosés chaque jour avec de l'eau distillée, et les circonstances atmosphériques étant identiques, la germination eut lieu sans différence de temps appréciable pour les semences confiées aux oxydes et au sable, et de plus nous observâmes une très-légère avance pour quelques-unes de celles mises dans la terre de jardin. Les effets de ces oxydes observés par de Humboldt sont donc tout à fait exceptionnels et ne doivent pas être considérés comme une action propre à ces corps, ainsi que le prouvent nos expériences répétées à deux époques différentes sur cinq espèces de graines. Si les effets des oxydes de plomb ne sont pas favorables pour la germination, leur insolubilité fait qu'ils ne sont pas nuisibles, et en cela ils ressemblent aux composés insolubles de ce métal qui n'agissent d'aucune façon, soit sur la germination, soit sur la végétation des plantes.

Des effets des composés du cobalt et du nickel. — Vogel a constaté les effets nuisibles des sels de cobalt et de nickel sur la végétation; Wiegmann a confirmé ces résultats pour le cobalt. Le peu d'importance et la rareté des composés de ces métaux nous ont engagé à ne pas les étudier spécialement.

Des effets des composés du fer. — De tous les métaux dont nous avons entrepris l'étude de l'action sur le règne végétal, le fer, par la dissémination de ses composés dans le sol, est certainement le plus important, d'autant que, d'après les analyses faites jusqu'à ce jour, il semble être une partie constituante essentielle de la charpente minérale des plantes.

Les composés du fer agissent de diverses façons, suivant la quantité qui entre dans la composition des terrains; après avoir étudié l'action à haute dose, nous chercherons à résumer les diverses interprétations que l'on a donné de leur rôle à petite dose dans l'économie agricole.

La germination des plantes n'a pas lieu, ou du moins ne donne pas de sujet viable, dans un terrain contenant plus d'un centième de composé ferrugineux soluble.

Lorsque l'on arrose les plantes avec des solutions au centième de sulfate de fer, la mort ne tarde pas à les gagner, si elles sont dans un terrain qui ne décompose pas le sel; les racines atteintes par la solution se combinent

chimiquement avec elles, elles noircissent, et perdent en se modifiant ainsi leurs fonctions physiologiques. Peu de temps après les feuilles se ramollissent, des taches brunes apparaissent çà et là, et la plante meurt.

Lorsque la dose du sel de fer n'est pas suffisante pour détruire le végétal, son effet est particulièrement nuisible pour les fleurs et les fruits. Le prince de Salm-Horstmar [1] et M. Bouchardat [2] ont remarqué ce résultat, l'un sur le maïs, l'autre sur l'avoine.

Les faits constatant l'action nuisible des sels de fer sur les végétaux ont été observés depuis longtemps. Einhof a vu toujours suivi de résultats fâcheux l'emploi comme engrais d'une certaine bourbe qui contenait deux centièmes de sulfate de fer. Un ruisseau prenant sa source dans les montagnes du Harz amène dans ses débordements, sur les prairies qu'il traverse, des pyrites martiales qui se convertissent en sulfate de fer; d'après le même auteur, après chacune de ces inondations, le sol devient stérile et ne fournit plus que de très-mauvais foin. Davy [3] attribue à ces composés la stérilité d'un terrain qui paraissait cependant devoir être fertile. De Gasparin [4] a vu le bord des ruisseaux qui charrient des eaux vitriolées privés de végétation, et les Menthes seules croître à grand'peine dans les places où ce sel est moins abondant.

Mais si ces composés mélangés en trop grande quantité au sol sont nuisibles aux plantes, il n'en est plus de même lorsque leur emploi est fait avec discernement. Les composés solubles agissent alors d'une manière identique aux composés insolubles, lors même qu'ils ne le deviennent pas par leur contact avec les éléments constituants de la terre.

Les composés insolubles du fer jouent, dans l'économie agricole, deux rôles bien distincts : dans un cas, ils s'assimilent au végétal; dans l'autre, ils servent de véhicule aux molécules à assimiler.

1. Recherches sur la nutrition de l'avoine, particulièrement en ce qui concerne les matières organiques qui sont nécessaires à cette nutrition. *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXXII, p. 461. 1851.

2. De l'influence des sels ammoniacaux et autres sur le développement de quelques plantes usuelles (2e mémoire). *In.* Recherches sur la végétation, etc.

3. *Éléments de chimie appliquée à l'agriculture*, traduits par Marchais de Mignaux, p. 344. Paris, 1820.

4. *Cours d'agriculture*, t. I, p. 102. Paris, 1843.

L'oxyde, qui est de tous les composés du fer le plus répandu, peut être assimilé par les plantes sous différentes formes. En effet, sous l'influence de l'eau chargée d'acide carbonique qui humecte le sol, cet oxyde peut s'y dissoudre à l'état de bicarbonate ; ou bien sous celle répétée des matières organiques avec lesquelles il se trouve en contact, il peut entrer à l'état soluble dans des combinaisons azotées. Quel que soit l'état sous lequel le fer entre dans le végétal, il y est nécessaire, et je dirai presque indispensable. Il joue un rôle important dans la formation de la matière colorante des feuilles et des fleurs. Lorsqu'un terrain manque de composés ferrugineux propres à céder ce métal aux plantes, la végétation y est languissante, la couleur verte manque plus ou moins complétement aux feuilles et aux tiges herbacées ; les fleurs, lorsqu'elles se développent, forment souvent des variétés blanches de fleurs naturelles rouges. Cet effet a lieu quelquefois dès la première génération. La qualité des fruits varie avec cette absence de fer. Les vins des vignobles non ferrugineux contiennent moins d'alcool, et le mucilage s'y trouve en plus grande quantité que dans ceux des terrains ferrugineux : leur conservation est par conséquent plus difficile [1].

Les sels de fer, quel que soit le mode d'assimilation, que cette fonction s'exerce par les racines ou par les feuilles, lorsque leur usage est limité, rendent aux végétaux chétifs leur énergie vitale. Les feuilles reprennent bientôt, sous l'influence de ce métal, leur coloration verte ; de même que par le manque de fer les fleurs colorées forment des variétés blanches, de même les variétés blanches sont promptement ramenées au type coloré par son emploi. Les Polemonium cæruleum reprennent la nuance qui leur a donné leur nom. Les Hortensias roses gagnent cette belle couleur bleue qu'ils ont naturellement dans quelques vallées où ils poussent sans culture. Les dahlias, les œillets, les jacinthes, les giroflées se foncent en couleur.

Cet effet actif des composés du fer n'est pas le seul : il est doublé, comme nous l'avons dit, d'une autre action purement physiologique ; c'est son rôle passif dans l'alimentation végétale. Des études spéciales et longtemps suivies pouvant seules jeter quelque jour sur une question aussi importante,

1. Comte de Gasparin, loc. cit.

nous nous abstiendrons de toute opinion personnelle, et nous nous contenterons d'indiquer celles des hommes compétents qui se sont plus spécialement occupés de ce sujet.

La fertilité des sols ferrugineux a longtemps été attribuée à leur propriété desséchante. De Gasparin, tout en conservant cette opinion relativement aux terrains siliceux des climats froids où l'oxyde de fer dominant favorise l'échauffement du sol en le colorant et le rend propre à la culture, n'en reconnaît pas moins que c'est à la propriété qu'ont les oxydes de fer de fixer l'azote de l'atmosphère sous forme d'ammoniaque, qu'est due leur action sur le règne végétal.

Cette fertilisation, par la fixation de l'azote de l'atmosphère, admise par Liebig, a été expliquée d'une manière toute différente par MM. Kuhlmann et Hervé-Mangon [1]. M. Kuhlmann ayant constaté que la présence du peroxyde de fer oxyde lentement et finit par détruire certaines matières organiques, telles que des bois, des cordages, a conclu que l'oxyde de fer contenu dans le sol jouait le même rôle sur les engrais qu'on y enfouissait et favorisait par conséquent l'absorption de ces matières par les plantes. M. Hervé-Mangon pense que l'oxyde de fer agit sur les végétaux parce qu'il se trouve engagé dans un composé organique particulier, plus spécialement capable de subir des oxydations et des réductions successives qui en font de véritables navettes à oxygène. Il existe, suivant lui, dans les terrains agricoles, des produits organiques contenant du fer qui rappellent certaines propriétés des acides crénique et apocrénique de Berzélius, et qui présentent au point de vue de l'oxydation et de la réduction de ce métal des propriétés vraiment dignes d'intérêt. Lorsque le fer est à l'état de protoxyde dans ces composés, ils sont solubles dans l'eau. Cette dissolution, exposée à l'air, absorbe l'oxygène et laisse d'abondants flocons d'un rouge ocreux; le précipité, mis à l'abri du contact de l'air, se réduit promptement, passe au bleu noirâtre, redevient en partie soluble et fournit une liqueur sur laquelle les mêmes phénomènes peuvent se reproduire un certain nombre de fois. Il assimile le rôle du fer dans le sol arable à celui qu'il joue dans

1. Barral. Action des sels de fer sur la végétation. *Journal d'agriculture pratique*, t. II, p. 227, 1859.

le sang des animaux; il y aurait une véritable respiration du sol artérielle à la surface et veineuse au fond.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur le rôle de cet oxyde, et nous terminerons ce que nous avons à dire sur les composés du fer en constatant, avec le prince de Salm-Horstmar, que les oxydes ne sont pas les seuls composés auxquels ces plantes peuvent puiser ce métal, et qu'elles s'assimilent parfaitement le fer combiné à l'acide phosphorique.

Des effets des composés du zinc. — Le sulfate du zinc nous servira de type pour étudier l'action des composés solubles de ce métal; cependant nous devons faire remarquer qu'à doses égales, l'action étant la même, le chlorure agit plus promptement.

L'action des sels de zinc se rapproche de celle des sels de fer et de manganèse.

Les semences qui ont plongé quelque temps dans une solution concentrée de sulfate de zinc perdent leurs propriétés germinatives; il en est de même de celles plantées dans un terrain arrosé avec cette solution; lorsqu'elle contient plus d'un centième de sel, c'est à peine si quelques graminées germent encore.

Les plantes adultes arrosées avec le sulfate de zinc dissous perdent toute la turgescence des parties en contact avec la liqueur; elles se rident, les cellules se vident et leurs parois adhèrent l'une à l'autre ; la racine semble avoir atteint l'état de dessiccation le plus avancé. Le sel à mesure qu'il pénètre dans le végétal, produit dans les tiges et dans les feuilles des traînées d'un aspect identiquement semblable à celui des parties que la solution a atteint. La mort ne tarde pas à gagner le végétal, et elle est d'autant plus prompte que la solution est moins concentrée ; cependant, on doit observer un minima après lequel les plantes ne meurent plus, et alors les effets du poison ne sont rendus sensibles que par la débilité du sujet soumis à l'action du sel.

L'oxyde de zinc et les composés insolubles de ce métal n'exercent pas d'action violente sur la végétation ; cependant quelques-uns d'entre eux, sous l'influence des agents atmosphériques et du sol, se transforment dans certaines circonstances en sels solubles et agissent alors à la façon de ces derniers; mais la quantité qui s'en trouve en général dans les terrains est

trop faible pour qu'ils puissent produire des accidents visibles, et l'analyse seule indique leur action.

Des effets des composés du manganèse. — Les composés du manganèse ont été considérés, probablement à cause de leur présnec simultanée avec les composés du fer, comme ayant une action analogue à ces derniers sur le règne végétal. Cependant, d'après des expériences répétées par quelques observateurs, et d'après celles que nous avons exécutées, les composés solubles du manganèse à des doses bien inférieures à celles des composés du fer, agissent d'une manière bien plus nuisible sur les plantes.

Les effets de ces composés, quel que soit l'acide uni au métal, sont semblables pour tous. Leur première action immédiate est leur combinaison avec les éléments du végétal et par suite l'astriction des parties en contact, avec oblitération complète des vaisseaux et cellules du sujet.

Lorsque la dose n'est pas assez considérable pour produire cet effet, la plante devient languissante et s'arrête dans sa croissance.

Les composés insolubles de ce métal avec l'oxygène ont été depuis longtemps le sujet d'études sur la germination. L'opinion émise par Achard de la stimulation de la germination dans les graines confiées à ces oxydes a engagé à répéter souvent ces expériences. Lefébure a annoncé le même résultat. Einhof le premier démentit cette assertion qu'il attribuait à de Humboldt : il dit que la germination a lieu dans cette substance, mais sans qu'elle s'y produise avec avantage. Dans les expériences que nous avons faites sur ce sujet, nous eûmes un retard assez marqué dans la germination de semences de haricot et de cresson alénois par rapport à celle des mêmes graines confiées à la terre ordinaire. Des graines de giroflées, d'Helianthus ont germé dans le même temps semées dans l'oxyde de manganèse et dans la terre.

Les oxydes de manganèse doivent être considérés comme des substances inertes à qui, toutefois, on doit conserver leur propriété de concentrer la chaleur solaire dans le sol par la couleur foncée qu'ils lui communiquent.

II

DES DIFFÉRENCES PRODUITES PAR LA NATURE DES VÉGÉTAUX DANS LES EFFETS GÉNÉRAUX.

Les effets que nous avons décrits et que nous avons pu grouper, grâee au peu de différenee que l'espèee, l'âge, la composition chimique de la plante produit pour chaque métal en partieulier, ont eependant besoin, pour être eomplétés, d'êtrc suivis dans la variabilité de leur intensité dans les différentes familles végétales et dans lcs quelques exceptions produites pour eertaines plantes de eomposition différente.

Tous les composés métalliques ont une action nuisible, eroissant avee la position de la plante dans la série végétale. Les cryptogames sont les plus rebelles à l'action des métaux. Les eomposés solubles de l'arsenic, de l'antimoine, du plomb, du zinc, loin de détruire la vie ehez ces êtres organisés, semblent avoir ehaeun un végétal partieulier à qui ils donnent naissanee. MM. Boutigny, Chatin, Bouehardat ont constaté l'existenee de eonferves dans les solutions saturées d'acide arsénieux, et il n'est personne qui n'ait eu occasion de le faire pour eette solution et celle d'émétique. Cette innocuité des eomposés arsénieaux pour les végétaux eellulaires est une raison importante à invoquer, en dehors de eelle d'hygiène, pour la proscription de l'arsénieage des blés usité contre l'Uredo carbo. Nous revenons avec intention sur ee sujet, malgré la loi qui interdit eet emploi, paree que nous savons de bonne souree que bien des fermiers eneore se servent de cet agent dangereux, prétextant de sa supériorité sur tous les autres, quoique les faits soient là pour démontrer le contraire. Les expérienees de M. Girardin prouvent, en effet, un rendement inférieur et une disparition de eharbon peu différente dans le blé arséniqué et dans eelui dont la semenee a été lavée simplement à l'eau, c'est-à-dire traitée par le proeédé le plus élémentaire. Un seul cas cn a pu faire tolérer l'usage, c'est lorsque les ehamps sont infestés par les rats et autres rongeurs. Cette raison en rendait l'emploi

vulgaire en Egypte au seizième siècle [1], et l'a fait recommander par M. Boussingault [2].

A mesure que nous avançons dans la série végétale, les plantes deviennent de plus en plus sensibles aux composés métalliques; tandis que les séminules de fougère mâle germent encore lavées et placées dans du sable après être restées trois jours dans une solution saturée d'acide arsénieux, le blé ne germe qu'autant que la solution a été trois fois plus étendue; et des semences de faux Acacia, de Dianthus sinensis, de Ricinus communis perdent leur propriété germinative dans cette même liqueur [3]. Nous avons toujours vu les monocotylédones résister et se développer dans du sable lavé et calciné, arrosé avec une solution titrée de sels métalliques, lorsque toute espèce de dicotylédones ne germait pas. Dans ces circonstances, le blé, l'orge lèvent et croissent dans des solutions au dix-millième d'acide arsénieux et arsénique, de bichlorure de mercure, de nitrate d'argent. Les solutions au centième d'émétique, d'acétate neutre de plomb, de sulfate de fer, de sulfate de zinc ne les empêchent pas de croître.

Les émanations répandues par le mercure dans un lieu clos à la température ordinaire sont aussi sans action sur les seules monocotylédonées.

Les dicotylédonées ne sont sans doute pas toutes atteintes d'une manière uniforme par les composés métalliques; mais les documents que nous avons recueillis et nos expériences ne nous permettent pas d'avancer autre chose que la sensibilité plus grande des Légumineuses. Souvent, en effet, nous avons eu occasion de la constater, et des faits qui la prouvent sont cités dans les travaux de MM. Targioni-Tozzetti et Chatin.

Nous devons rapporter aussi à l'influence de l'espèce la résistance toute naturelle qu'offre à l'empoisonnement certaines plantes dont les racines sont

1. « Ex Italia vero, Gallia, Anglia panni lanei, sericei, stannum hydrargyrum, succina, coraka atque arsenicum, quod Ægyptii una cum tritico serunt, ne a muribus, quibus omnes agri Ægyptii abundant, triticum absumatur. » Prosperi Alpini, *Historiæ ægypti naturalis* pars prima, qua continentur *Rerum Ægyptiarum* libri quatuor Lugduni Batavorum MDCCXXXV, lib. I, cap. v, p. 27.

2. Sur l'opportunité de faire intervenir dans quelques circonstances l'arsenic dans le chaulage des grains. *Journal de pharmacie*, t. XXX, p. 44.

3. Chatin, loc. cit.

autant des appuis que des organes de nutrition : telles sont diverses espèces de Cactus.

Si l'espèce a une influence aussi marquée que nous venons de le constater, l'âge n'en a pas moins : les plantes les plus jeunes meurent toujours les premières ; et si nous considérons la plantule comme le végétal au commencement de son existence, cette influence est encore plus marquée. Les effets sont toujours plus lents à se produire chez un végétal passé à l'état d'arbre que chez celui de la même espèce dans son jeune âge. C'est probablement à cette influence de l'âge que l'on doit attribuer le fait constaté par M. Chevallier [1] chez un jardinier de Vaugirard qui arrosait ses plantes avec une eau chargée de sulfate de fer; ces arrosages étaient favorables aux arbustes, tandis que les plantes herbacées en souffraient.

Un dernier élément doit être considéré dans la résistance offerte par les plantes aux effets des composés métalliques : c'est la composition chimique.

Une grande série de végétaux, par le soufre qu'elle contient, semble devoir s'éloigner beaucoup des autres ; c'est comparativement sur ces deux espèces que nous avons porté notre attention. Parmi les plantes qui contiennent du soufre nous avons choisi le cresson alénois, la julienne, la moutarde ; leurs semences étaient confiées aux terrains diversement préparés, en même temps que celles d'Hélianthus annuus, de Balsamina hortensis, de Phaseolus vulgaris; il est remarquable que dans le sable arrosé avec les solutions de nitrate d'argent et de bichlorure de mercure au dix-millième d'émétique et de sulfate de cuivre au millième, que dans le sulfure d'antimoine et l'oxyde noir de cuivre, quelques semences des plantes contenant du soufre aient seules germé et levé. Sans nous appuyer davantage sur ce résultat, ne serait-il pas permis cependant d'admettre que le principe soufré de la plante se combinant avec le composé métallique et le rendant insoluble, en annihile en partie les effets?

M. Ponsard [2], partant de la composition chimique de la cuscute, recom-

1. Note sur l'action des sels de fer, suivant la nature des plantes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXII, p. 88. 1846.

2. Destruction de la cuscute par le sulfate de fer. *Journal d'agriculture pratique*, t. II, p. 139. 1858.

mande l'arrosage des luzernes envahies par cette parasite avec la solution de sulfate de fer qui, se combinant avec le tannin contenu dans ce végétal, en obstrue, suivant lui, les vaisseaux et le fait périr. Lassaigne [1] n'admet pas cette action chimique, et pour lui la destruction de la cuscute tient à ce que les racines de cette plante sont atteintes par la solution astringente avant que celle-ci ne soit décomposée par les éléments du terrain, et sont par ce fait même détruites.

Enfin, doit-on attribuer à la composition chimique du Chrysanthemum segetum son absence des terrains contenant du manganèse et de l'alumine et son abondance dans les sols ferrugineux et potassés? Cette action du manganèse est telle, d'après Sprengel [2], qu'il suffit d'en répandre sur un terrain où croît le Chrysanthemum pour le faire complétement disparaître.

III

DE L'INFLUENCE DU MILIEU OU VIT LE VÉGÉTAL SUR LES EFFETS GÉNÉRAUX.

Dans cette partie, nous avons plusieurs effets importants à apprécier. D'abord, les conséquences de la nature du sol, du genre d'aliments minéraux qu'il fournit au végétal, de son humidité plus ou moins grande, ensuite celles provenant de l'état atmosphérique de la température, de la lumière.

La nature du sol en dehors de l'action toute mécanique de la décomposition chimique qu'elle fait subir aux composés que l'on veut faire absorber aux plantes a une seconde action toute physiologique, dépendant du genre d'aliments qu'il fournit au végétal et dont celui-ci forme sa charpente minérale.

1. Recherches sur l'action qu'exercent les sels de fer dans l'acte de la germination et de la végétation, suivies d'un procédé simple pour apprécier les petites quantités d'oxide de fer que renferment les cendres d'autres plantes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIV, p. 587. 1852.

2. Sur les principes chimiques du Chrysanthemum segetum. *Bulletin des sciences mathématiques*, t. XIV, p. 145. 1830.

Lorsque l'on soumet en même temps à l'action des sels de cuivre, de plomb, de zinc, des plantes de diverses espèces qui ont été élevées les unes dans un terrain calcaire, les autres dans un terrain siliceux, si la dose du sel est faible, les plantes crues dans le terrain calcaire résisteront; si elle est forte, elles succomberont moins promptement que celles des terrains siliceux, dont la composition offre une moins grande résistance chimique aux composés nuisibles.

Nous avons été amené à ces résultats par les expériences de M. Chatin, qui constata l'indifférence que montraient les dahlias à l'action de l'acide arsénieux, lorsqu'on les arrosait après les avoir soumis à cet agent, avec une solution de chlorure de calcium. Ce fait, qui démontrait l'inactivité du composé nuisible, lorsqu'il pouvait être réduit à l'état insoluble dans le végétal, nous engagea à tenter l'action des divers composés métalliques comparativement sur des végétaux gorgés de sels calcaires et sur d'autres qui en étaient appauvris. Nous obtenions ces plantes de composition différente en semant des graines, d'une part dans du sable lavé; de l'autre, dans un mélange de celui-ci, et de carbonate et de phosphate de chaux obtenus par précipitation. Les premières étaient arrosées avec de l'eau ordinaire, les secondes avec de l'eau chargée de gaz acide carbonique. Par ces soins, nous eûmes des plantes qui, amenées au même point de dessiccation, fournissaient par l'incinération près du double de cendres les unes que les autres. C'est sur ces deux variétés des mêmes espèces végétales que nous essayâmes l'action des divers composés. Nos résultats furent tels que nous les avons annoncés antérieurement pour le cuivre, le plomb et le zinc; mais l'arsenic et quelques autres substances que nous essayâmes produisirent les mêmes effets sur les deux variétés de sujets.

Vogel attribuait à cette composition toute calcaire de certaines plantes qui absorbent particulièrement le carbonate de chaux, telles que le Chara vulgaris et le Stratiotes aloïdes, leur résistance énergique à l'action des sels de cuivre. Nous sommes d'autant plus porté à admettre cette opinion que, comme nous l'avons dit, l'effet des sels de cuivre varie peu dans les diverses familles botaniques.

M. Chatin, dont le travail si complet va nous fournir en grande partie la suite de ce chapitre, déduit de ses expériences sur l'acide arsénieux que

l'humidité du sol est favorable aux plantes, pendant le temps qu'elles sont soumises à l'action du poison. Les effets de l'arrosage sont d'abord de faire pénétrer plus avant dans le sol, et par conséquent en dehors de la sphère d'absorption du végétal, les substances solubles; ensuite l'eau que contient le sol humide dilue la solution, et par conséquent en rend l'action moins funeste. Lorsque la plante n'est plus soumise à l'action du composé, l'humidité ne lui est pas moins favorable, car alors la plante étant entretenue dans un maximum de turgescence, la solution dangereuse ne peut se concentrer et occasionner d'aussi grands désordres.

L'agitation de l'air a aussi son influence sur les plantes en contact avec le composé arsénical, et sur celles qui, l'ayant déjà absorbé, ont été éloignées de la source du composé. Le mouvement de l'air est nuisible aux premières par l'absorption plus grande qui a lieu sous l'influence d'une augmentation de transpiration; il ne sera favorable aux secondes qu'autant que le terrain où elles seront placées sera humide. Une atmosphère très-humide sera favorable aux plantes soumises à l'intoxication, et nuira aux végétaux empoisonnés et transportés dans un terrain neuf.

La température joue aussi un grand rôle dans les effets des divers composés : plus elle est élevée, plus leur action est prompte et énergique.

Les plantes soumises à l'action des diverses solutions nuisibles présentent les premiers accidents destructeurs sur la partie de la tige tournée vers la lumière. Cet effet actif partiel s'étend aux plantes entières ; car dans les mêmes circonstances une plante très-éclairée offrira les phénomènes précurseurs de la mort bien avant le sujet placé dans un lieu obscur.

DEUXIÈME PARTIE

De la présence de quelques Composés du Règne minéral dans les Végétaux.

Dans la première partie, nous nous sommes occupé de l'action des composés minéraux sur le règne végétal, lorsqu'ils produisent des effets sensibles et appréciables pour nos sens. Nous allons suivre maintenant ces composés dans le rôle qu'ils remplissent lorsque, se trouvant en quantité trop faible en présence des organes nourriciers de la plante, ils ne peuvent produire d'effets extérieurs. Nous aidant des moyens qu'offre l'analyse chimique, nous chercherons à prouver leur assimilation par le végétal. Nous signalerons tous les faits relatifs à la présence spontanée du manganèse, du zinc, du fer, du cobalt, du plomb, du cuivre, de l'argent, de l'arsenic dans les plantes. Nous rechercherons comment ces minéraux se répartissent dans les divers organes des végétaux soumis à leur action, quelles combinaisons ils forment sous l'influence de la vie organique.

I

DE LA PRÉSENCE NORMALE DE QUELQUES MINÉRAUX DANS LES VÉGÉTAUX.

Toutes les fois qu'une plante est en contact par ses racines avec un composé minéral soluble, l'absorption a lieu. Sans nous occuper ici des organes par lesquels cette fonction s'exerce, sans rechercher quelles altérations ceux-ci éprouvent sous l'influence de ces divers composés, nous allons, par l'exposition des faits, démontrer la réalité de notre proposition.

Les métaux étant répandus dans un grand nombre de terrains, il est naturel que les plantes qui croissent dans ces terrains les contiennent.

Jusqu'aujourd'hui, les métaux qui ont été trouvés à l'état normal dans les végétaux sont : le cœsium, le rubidium, le potassium, le sodium, le lithium, le calcium, le magnésium, l'aluminium, le manganèse, le zinc, le fer, le cobalt? le plomb, le cuivre, l'argent, l'arsenic.

Cette énumération exacte, conséquence des progrès de l'analyse chimique, est bien loin de celle qu'au commencement du dix-huitième siècle les études alchimiques des siècles antérieurs avaient créée. La présence dans les plantes de l'or, de l'argent, de l'étain, du mercure, était alors admise par un grand nombre de savants. Quelques-uns reconnaissaient celle du cuivre ; et celle du fer n'était constatée par Geoffroy, d'une manière certaine, qu'en 1705.

Sans détailler les faits sur lesquels on s'appuyait pour la démonstration de la présence de ces corps si enviables dans les plantes, nous en donnerons un exposé succinct nécessaire pour compléter ce chapitre de l'histoire de l'analyse végétale.

Croyances antérieures au dix-neuvième siècle, relativement à la présence des métaux dans les plantes.

Présence de l'or. — L'or fut retiré pour la première fois des végétaux par saint Jean l'Évangéliste; il accomplit cette séparation dans l'île de Pathmos. Il le retira probablement du bois de tamarix; car l'or est commun dans les terrains où croît cet arbre. Un jésuite, ayant découvert le secret de l'Évangéliste, le confia à Beccher, qui nous raconte ces faits [1].

Henckel [2] « prouvo aisément que l'or n'est pas entièrement inconnu dans le règne végétal et que sa couleur verte, quoique cachée et incorruptible, n'est pas contraire aux plantes..... En effet, les exhalaisons pures peuvent fort bien s'y incorporer et entrer dans leur mixtion. » Les témoignages en faveur de cette opinion ne lui manquent pas; car Beccher [3] a bu du vin

1. Physica subterranœa. Editio novissima. Lipsiæ, 1738. — Experimentum chymicum novum quo artificialis et instantanea metallorum generatio et transmutatio ad oculum demonstratur. Loco supplementi..., cap. IV, p. 304.

2. Flora saturnisans, 1722, trad. par Charas. Paris, 1760. — Chap. XIV. Des Métaux contenus dans les plantes.

3. Métallurgie de Becher, p. 2. — Chimiste fugitif du fidèle Eckhardt, p. 1083. — Cités par Henckel.

rouge provenant de raisins qui avaient des grains d'or au lieu de pepins ; en 1651, on fit présent au prince Ragorzi de raisins dont les pepins reluisaient comme de l'or, et qui en étaient en effet ; de plus, les pellicules étaient de couleur d'or[1] ; enfin, en 1660, on trouva dans une vigne des raisins dont les pepins étaient d'or pur, et si durs qu'ils avaient détruit la pellicule qui les enveloppait, ce qui les faisait paraître au dehors[2]. La vigne seule, d'après Henckel, contient l'or, parce qu'elle paraît seule avoir une matrice propre à le recevoir. L'élévation de la température est très-favorable à cette production. Quelques auteurs signalent cependant sa présence dans le chêne, dans le hètre et dans la plupart des végétaux[3].

Cette opinion de la présence de l'or dans les végétaux était tellement répandue au dix-huitième siècle, qu'en 1778 Sage ne craignit pas de présenter à l'Académie des sciences un Mémoire dans lequel il prétendait retirer quatre gros douze grains d'or par quintal de cendres de sarment, et deux gros trente-six grains pour celles de bois de hètre non flotté ; ce Mémoire[4] engagea les chimistes à continuer cette recherche ; mais le comte de Lauraguais[5], d'Arcet et Rouelle[6], tout en trouvant ce métal, en virent la quantité diminuer considérablement. Enfin, en 1779, la classe de chimie tout entière, manipulant pour le compte de l'Académie des sciences, conclut qu'on ne pouvait en retirer que fort peu, et qu'encore la plus grande partie, sinon le tout, devait être attribuée au minium employé dans l'opération[7]. Depuis, les fabricants ayant perfectionné leur procédé d'appauvrissement

1. Tollii Epistolæ itin., p. 122. — Sacchius, *Ampelogr. curios.*, l. V. — Cités par Henckel.

2. Ephémérides des curieux de la nature. — Tollius, *idem*, p. 123. — Cités par Henckel.

3. « Tous les végétaux qui couvrent le globe sont en général composés d'eau, d'acide, d'huile, de terre martiale mêlée d'un peu d'or et de terre absorbante. » T. I, p. 573. — « Les couleurs variées des végétaux paraissent dépendre non-seulement de l'acide, de la lumière et du phlogistique, mais encore du fer et peut-être aussi de l'or, que l'analyse a fait trouver dans les cendres d'un grand nombre de végétaux. » T. II, p. 549. — Lettres du docteur Demeste au docteur Bernard. Paris, 1779.

4. Observations sur les différentes substances métalliques, et principalement sur l'or qu'on trouve dans les cendres des végétaux. — Mémoire lu le 23 mai 1778.

5. Lettre adressée à l'Académie le 8 août 1778.

6. Expériences faites par MM. Rouelle et d'Arcet, d'après celles de M. Sage. 1778.

7. Macquer. Rapport fait à l'Académie des sciences sur la présence de l'or dans les

du plomb, ont fait disparaître l'or de la liste des métaux qui se rencontrent quelquefois dans les plantes.

Présence de l'argent. — Dans une lettre que Christophe Arnould, professeur à Nuremberg, adresse à son fils, en 1683[1], nous trouvons l'histoire à peu près complète de la présence de l'argent dans le règne végétal. Trois fois, dit-il, il a trouvé dans les morilles de Bohême, des pierres métalliques presque toutes d'argent, et il appuie ce fait sur un passage de l'Histoire de Bohême du Père Balbin, où celui-ci raconte que l'on offrit à l'empereur Rodolphe des baguettes d'argent poussées dans les bois, et des épis de même métal levés dans un champ d'avoine.

Présence de l'étain. — « Le bâtard de l'argent, c'est-à-dire l'étain, est quelquefois contenu dans les végétaux. » En effet, d'après Henckel, l'auteur de l'Astronomie inférieure cite un apothicaire de Bavière qui en avait retiré des cendres de genêt.

Présence du mercure. — Le mercure, enfin, devait se rencontrer aussi dans le règne végétal. Septalius a observé la présence de mercure, coulant en petits grains, près des racines d'un Doronic qui croît dans la vallée de Laucy, dans les montagnes de Turin; il rapporte que le suc de cette plante exposé à l'air dans une belle nuit, fournit autant de mercure qu'il s'est dissipé de suc[2]. Ce fait n'est point isolé; des observations semblables ont été faites en Moravie, en Hongrie, au Pérou. De plus, Henckel cite le Père Kirker[3], qui avance qu'on en trouve entre le bois et l'écorce des arbres, Morhof, qui en a vu dans du bois[4]; enfin Beguin et Rhenanus, qui affirment qu'on en peut retirer des plantes.

Telles étaient les idées nées de l'alchimie, relativement à la composition chimique de la charpente végétale; ce n'est qu'au dix-neuvième siècle que les faits sur lesquels nous allons nous appuyer dans la suite de cet exposé

plantes, par la classe de chimie, le 21 août 1779. (*Mémoires de l'Académie royale des sciences*, p. 542, 1778.)

1. Extrait d'une lettre touchant les morilles de Bohême. *Journal des savants*, 17 mai 1683.

2. Observations de M. Manfredi Septalius, de Milan, sur du vif-argent trouvé auprès des racines des plantes. — *Transactions philosophiques de la Société royale de Londres*, 1667, n° 27.

3. Kirker. *Aldrovandi Musæi metallici Sinopsis*, p. 60.

4. Morhof. Lettre à Langelot, citée par Henckel.

ont été connus ; cependant on ne passa pas immédiatement aux idées nouvelles, et le temps de transition fut marqué de quelques expériences positives que nous accueillerons en leur lieu.

Faits relatifs à la presence, dans les plantes, des minéraux dont nous nous occupons.

Parmi les minéraux dont nous nous occupons, le manganèse, le zinc, le fer, le cobalt, le plomb, le cuivre, l'argent, l'arsenic ont été reconnus dans le règne végétal.

Présence du manganèse. — Le manganèse se rencontre dans les plantes presque aussi souvent que le fer, et simultanément avec ce métal. Il peut être considéré comme une partie essentielle du squelette des plantes, et son absence, d'après les nombreuses analyses faites jusqu'aujourd'hui, serait un cas fort rare.

Schéele [1], le premier, le constata dans les cendres des végétaux, et le distingua du fer avec lequel on l'avait confondu jusque-là. Il fut signalé ensuite comme faisant partie des matières minérales du pin, du souci, de la vigne, du chêne vert, du figuier, par Proust [2]. Schrader [3] le retira de celles des graminées.

Depuis, les cas où sa présence est signalée sont trop nombreux pour que nous donnions la liste des chimistes qui l'ont rencontré.

Présence du zinc. — M. Braun [4], frappé de la constance de la présence d'une variété de Viola tricolor, connue par les mineurs sous le nom de fleurs de Calamine (Galmesveilchen, Kelmesblume) sur les collines riches en minerais de zinc, fit analyser des échantillons de cette plante, recueillis autour des mines de zinc près Aix-la-Chapelle. M. Bellingradt, à qui fut confiée cette analyse, après avoir épuisé ces plantes par des lavages à l'acide chlorhydrique étendu, les hacha et détruisit les matières organiques par l'a-

1. Fourcroy. *Système des connaissances chimiques*, t. VIII, p. 103.
2. De Candolle. *Physiologie végétale*, p. 388.
3. De Candolle. *Physiologie végétale*, p. 388.
4. Sur la présence du zinc dans des cendres végétales. *Journal de pharmacie*, t. XXVI, p. 237. — *Poggendorf Annal.*, t. XCII, p. 175.

cide chlorhydrique et le chlorate de potasse. Après parfaite décoloration de la liqueur, il précipita par l'ammoniaque en excès l'alumine et le fer, et la solution filtrée fut ensuite traitée par le sulfhydrate d'ammoniaque. Le précipité obtenu par cette addition fut dissous dans l'acide chlorydrique, additionné d'acide nitrique pour peroxyder le reste du fer. Le traitement par l'ammoniaque ayant été renouvelé, l'hydrogène sulfuré donna dans la liqueur filtrée un précipité blanc ayant tous les caractères du sulfure de zinc.

Ce fait était le premier et le seul constaté jusqu'ici de la présence du zinc dans le règne végétal. Mais, depuis 1861, un certain nombre d'analyses de plantes que nous avons faites, nous font regarder la présence de ce métal comme beaucoup moins rare dans le règne végétal.

Nous l'avons rencontré la première fois dans des feuilles d'épinards achetées à la halle de Paris, et que nous traitions pour y constater la présence du cuivre. Depuis, dans vingt analyses que nous avons faites dans le but de constater sa présence, nous l'avons rencontré six fois. Les haricots, les choux-fleurs, ne le contenaient jamais; les épinards, les cornichons, les salades de diverses espèces nous en ont présenté des traces. Il faut opérer au moins sur deux kilogrammes de ces substances pour obtenir une quantité de zinc suffisant à constater ses caractères.

Dans ces analyses, les plantes étaient lavées à l'eau distillée; on détruisait ensuite les matières organiques au moyen de l'acide chlorhydrique et du chlorate de potasse. La solution acide obtenue était évaporée et réduite à un petit volume ; on se débarrassait des traces de cuivre qu'elle pouvait contenir par un courant d'hydrogène sulfuré qu'on faisait passer dans la liqueur. La solution filtrée ensuite était chauffée jusqu'à disparition complète de gaz hydrogène sulfuré, et traitée par une petite quantité d'eau régale pour péroxyder le fer qui s'y trouvait. Au moyen d'un grand excès d'ammoniaque, le fer et l'alumine étaient précipités. La solution alcaline était évaporée à siccité, et le résidu traité de nouveau par l'eau régale pour péroxyder ce qui pouvait rester de fer. On ajoutait encore de l'ammoniaque en excès, et dans cette liqueur alcaline filtrée on faisait passer un courant d'hydrogène sulfuré; lorsque celui-ci faisait naître un précipité, ce dernier était essayé comme suit :

Après avoir été recueilli et séché dans une petite capsule de porcelaine, on en prenait une partie que l'on chauffait sur un charbon, en présence de la soude, à la flamme intérieure du chalumeau ; si on obtenait une petite auréole jaune blanchissant par le refroidissement, on l'humectait avec une petite quantité de solution étendue de nitrate de cobalt, et on la soumettait ensuite à l'action de la flamme extérieure. La coloration verte, se montrant après réfroidissement, nous permettait de conclure la présence du zinc.

Ne doit-on pas attribuer à l'emploi des poudrettes désinfectées par le sulfate de zinc et des boues de ville dans l'horticulture, la présence de ce métal dans le règne végétal? Car jusqu'à présent nous ne connaissons aucun fait qui permette de croire à la dissémination naturelle des composés du zinc dans les terrains superficiels.

Présence du fer. — Le 9 décembre 1705, Geoffroy, de l'académie des sciences, présenta à cette illustre compagnie un mémoire qui doit faire époque dans l'histoire de l'analyse végétale. C'est le premier écrit, en effet, qui signale la présence du fer dans les cendres des plantes. Son titre, « Problème de chimie, trouver des cendres qui ne contiennent aucune parcelle de fer [1] », était fait pour attirer l'attention des chimistes de cette époque ; aussi l'analyse grossière employée alors pour cette constatation fut-elle renouvelée souvent; mais, toutefois, les mémoires qui nous en font connaître les résultats s'accordent-ils, dès cette époque, à reconnaître le problème comme insoluble et à indiquer le fer comme partie essentielle des plantes.

Dès ce temps on cherchait à doser le fer dans les cendres, et Gusman Galéati [2], pensant que les plantes tirent ce métal tout formé du sol, donne pour raison à l'appui, que les végétaux des environs des mines de fer du terroir de Bresse en contiennent trois fois plus que ceux de son pays.

Une fois la présence du fer prouvée dans les végétaux, on cherche à lui faire jouer un rôle en physiologie ; les uns lui attribuent des fonctions dans la coloration des feuilles et des fleurs [3]; les autres, beaucoup plus nombreux, lui attribuent la coloration et la dureté des bois. C'est pourquoi ces penseurs,

1. *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris,* p. 362. 1705.
2. Sur l'existence du fer dans les corps. *Mémoires de l'Académie de Bologne. Collection académique,* t. X, p. 233.
3. Lettres du docteur Demeste au docteur Bernard, loc. cit.

faisant concorder leurs expériences avec leur opinion, trouvent le fer en plus grande quantité dans le fernambouc que dans le hêtre, et considèrent le douzième en poids des cendres de chêne, comme formé par ce métal [1].

De Saussure [2] a constaté dans ses analyses que la proportion des oxydes de fer et de manganèse augmentait avec l'avancement de la végétation, et que les feuilles des arbres fournissaient des cendres beaucoup plus riches de ces principes en automne qu'au printemps.

Nous ne connaissons pas de travail où l'on ait recherché, relativement à chaque famille végétale, la quantité de fer contenue dans les plantes poussant dans le même terrain; mais, d'après quelques expériences qui nous sont propres et qui demanderaient à être répétées plusieurs fois pour fixer l'opinion, il y aurait des différences assez sensibles entre les quantités d'oxyde de fer contenues dans les plantes des diverses familles recueillies sur le même sol après le même temps de végétation.

La présence dans les végétaux des oxydes de fer et de manganèse n'a pas lieu d'étonner. En effet, ces métaux sont les plus disséminés de tous; leur absence dans les terrains serait une exception qui n'a jamais été rencontrée, et leurs composés insolubles sont facilement attaqués par les agents atmosphériques et les composés divers qui se forment dans le cercle d'attraction des végétaux.

Présence du cobalt. — Les résultats d'une seule analyse jusqu'à présent indiquent la présence du cobalt dans le règne végétal. Nous la devons à M. Legrip [3], qui annonça en 1841 la présence de l'oxyde de ce métal dans le Lathyrus odoratus. Depuis, aucun fait nouveau n'est venu se joindre à celui-ci pour le confirmer.

Présence du plomb. — M. le professeur Chevallier [4] signala le premier, en 1848, la présence spontanée du plomb dans les plantes; il la constata

1. Fourcroy. *Connaissances chimiques*, loc. cit.

2. *Recherches chimiques sur la végétation.* Paris, an. XII, p. 303.

3. *Journal de chimie médicale*, t. VII, p. 120, 1841, cité par MM. Chevallier et Cottereau. — Essais historiques sur les métaux que l'on rencontre quelquefois dans les corps organisés. *Annales d'hygiène*, t. XLI, p. 387. 1849.

4. Essais sur l'absorption des sels par les plantes. *Journal de chimie médicale*, t. XXIV, p. 602. 1848.

dans des champignons poussés sur une couche préparée dans l'usine Roard, de Clichy, pour la fabrication de la céruse par le procédé hollandais; en même temps, il trouvait ce métal dans les plantes qui croissaient dans cet établissement, et en plus grande quantité dans celles appartenant à la famille des Légumineuses.

MM. Malaguti, Durocher et Sarzeau [1], dans leur remarquable travail sur la présence du plomb, du cuivre et de l'argent dans l'eau de la mer, annoncent qu'ils trouvèrent dix-huit millièmes de plomb dans les cendres de plusieurs espèces de Fucus.

Enfin, M. Stein [2], en 1851, retira quatre millioniémes du même métal de la paille de seigle poussée dans le voisinage d'une usine de plomb.

Les faits constatés par MM. Chevallieret Stein sont des faits exceptionnels; mais celui de la présence du plomb dans l'eau de la mer et les végétaux du littoral, n'autorise-t-il pas à supposer l'existence de ce métal dans les plantes de terre ferme?

Présence du cuivre. — Après le fer et le manganèse, le cuivre est le métal le plus répandu dans le règne végétal.

M. Bischoff [3] est le premier qui ait constaté d'une manière certaine présence; il le retira du Rhizomorpha et du Lycopodium complanatum.

Le docteur Meissner [4] le reconnut plus tard dans les cendres d'un grand nombre de végétaux indigènes et exotiques; toutefois il déclara la quantité trop petite pour être dosée.

Dans un mémoire qu'il adressa, en 1828, à l'Académie des sciences, M. Sarzeau annonça la présence du cuivre dans les cendres des végétaux; il fit connaître plus tard, en 1830 [5], le résultat de ses recherches et donna les chiffres qu'il avait obtenus dans le dosage de ce métal pour quelques produits végétaux. Il trouva dans :

1. Recherches sur la présence du plomb, du cuivre et de l'argent dans l'eau de la mer, et sur l'existence de ce dernier métal dans les êtres organisés. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIV, p. 780. 1849.

2. Sur l'existence de l'arsenic dans les plantes. *Journal de pharmacie*, t. XX, p. 320.

3. *Bulletin des sciences naturelles*, t. VII, p. 84.

4. Sur la présence du cuivre dans les cendres des végétaux. *Annales de chimie et de physique*, t. IV, p. 106. 1817.

5. Sur la présence du cuivre dans les végétaux et dans le sang. *Journal de pharmacie*, t. XVI, p. 506. 1830.

Le quinquina gris	5 milligr. par kilogr.
La garance	5 milligr. par kilogr.
Divers cafés	8 milligr. par kilogr.
Le froment	466 centmilligr.
La farine	666 millionièmes de gramme.
Le son	une quantité plus grande que dans la farine.

Il constata son absence dans la fécule de pommes de terre.

En répétant les expériences de Sprengel de Brunswick, Wiegman [1] trouva trois pour cent de cuivre dans les cendres du Trifolium pannonicum. Boutigny d'Evreux [2] constata sa présence dans le blé fumé avec les boues de ville et les noirs de raffinerie : il ne put le déceler dans les blés récoltés à la campagne ; mais M. Girardin [3], dans les analyses qu'il fit à la suite de ses expériences sur le chaulage, reconnut sa présence dans les blés chaulés et non chaulés, et ne trouva de différence que pour la quantité.

M. Langlois [4], dans des expériences comparatives sur diverses espèces de betterave, annonce que le cuivre ne se rencontre pas chez toutes ; les betteraves à suc rouge n'en contiennent pas, tandis qu'il y en a toujours dans l'espèce dite disette. Il pense que cela tient à ce que celle-ci se plaît surtout dans les terrains ocreux qui contiennent presque toujours du cuivre.

MM. Malaguti, Durocher et Sarzeau l'ont aussi retiré de diverses espèces de Fucus.

Il semblerait, d'après ces faits, que le cuivre n'est pas fort commun dans le règne végétal; on ne peut attribuer le petit nombre de ces constatations qu'à ce que ce métal n'est pas, en général, le but des analystes.

En effet, dans toutes les analyses de plantes que nous avons faites pour reconnaître leurs éléments minéraux, nous devons considérer, surtout pour

1. Sur la présence accidentelle du cuivre dans diverses espèces de trèfles. *Annales des scciences naturelles*, 2e série, t. VII, p. 288. 1837.

2. De la présence du cuivre dans le blé et dans un grand nombre d'autres substances. *Journal de chimie médicale*, t. IX, p. 147.

3. Recherche de l'arsenic et du cuivre dans les blés chaulés avec l'acide arsénieux et le sulfate de cuivre. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 1330. 1845.

4. Du cuivre dans les végétaux et dans le corps de l'homme, ainsi que de l'arsenic dans l'eau des sources ferrugineuses. *Bulletin de l'Académie de médecine*, t. XIII, p. 142.

celles du climat de Paris, l'absence du cuivre comme une exception. Dans les plantes élevées loin de ce centre, sa présence est encore bien plus souvent constatée que son absence.

Quant à la quantité contenue, elle est fort variable, toujours faible et plutôt appréciable dans les céréales.

L'extrême dissémination du cuivre dans le sol est une des causes à laquelle on doit attribuer sa présence dans les plantes ; mais une, beaucoup plus importante, tient, suivant nous, à l'usage des composés de ce métal dans la préparation des semences de froment, usage qui, depuis au moins deux siècles (nous trouvons son emploi indiqué déjà dans quelques ouvrages spéciaux de la fin du dix-septième siècle), l'a fait répandre chaque année dans toute espèce de terrain ; car les pailles de froment, qui proviennent de ces semences préparées, en contenant une quantité notable, les engrais dont elles forment la base étant répandus sur toute l'étendue de la ferme, le cuivre se trouve, par ce fait, disséminé sur toutes les cultures.

L'absence du cuivre dans la fécule de pommmes de terre, et la quantité plus grande contenue dans le son que dans la farine du blé, méritent de fixer l'attention. Nous pensons expliquer peut-être ce résultat en considérant la forme sous laquelle ce métal est absorbé. Probablement sous l'influence des liqueurs chargées de sels ammoniacaux, le composé insoluble du cuivre renfermé dans le sol est dissous et entraîné dans la plante; il devient insoluble et se fixe là où la molécule ammoniacale est décomposée. C'est donc dans les parties les plus azotées des plantes que l'on doit rencontrer le plus de cuivre.

Présence de l'argent. — MM. Malaguti, Durocher et Sarzeau, que nous avons cités déjà plusieurs fois, sont les seuls qui aient constaté la présence de l'argent dans le règne végétal. Après en avoir retiré un cent millième des cendres des Fucus serratus et céramoïdes, s'appuyant sur la dissémination de l'argent dans les minéraux métalliques, ils en recherchèrent la présence dans les plantes terrestres et furent assez heureux pour pouvoir la constater dans les cendres provenant d'un pêle-mêle d'essences végétales.

Présence de l'arsenic. — La présence de l'arsenic dans les plantes a été, par l'importance des résultats qu'elle pourrait amener, étudiée d'une manière spéciale.

M. Audouard[1], dans des mémoires envoyés en 1844 à l'Académie des sciences et à l'Académie de médecine, annonça avoir trouvé de l'arsenic dans les blés dont les semences avaient été soumises à l'action de cet agent. Les pailles des blés chaulés à l'arsenic contenaient de l'arsenic ; et, suivant lui, les graines en renfermaient une proportion plus grande qu'il évaluait à un sixième de milligramme par kilogramme. Ce résultat émut l'opinion publique, et de tous côtés on fit l'analyse des blés arseniqués. MM. Chatin, Chevallier, Girardin, etc., ne purent rencontrer l'arsenic dans les graines, et quelquefois seulement on en décela des traces dans la paille. Les craintes s'évanouirent d'elles-mêmes devant les analyses de ces savants, et l'arsenic des blés de M. Audouard resta comme un fait isolé et sans conséquence.

En 1850, M. Stein[2] annonça la présence spontanée de l'arsenic dans le règne végétal. Il trouva ce corps dans les cendres du charbon qu'il employait dans son laboratoire, dans celles de paille de seigle, de feuilles de choux, de racines de navets, de tubercules de pommes de terre. Plus tard, il en trouva jusqu'à neuf millionièmes dans celles d'une paille de seigle, poussée dans les environs d'une usine de plomb ! Quelle serait la quantité trouvée s'il avait opéré par un procédé moins mauvais et plus rationnel que l'incinération ? La présence de l'arsenic dans le règne végétal n'offre donc pas jusqu'à présent un danger bien imminent pour l'hygiène publique. Cependant nous ne devons pas négliger le fait de la présence de l'arsenic dans des navets poussés dans un terrain fumé avec des engrais artificiels. E. W. Davy[3], qui rapporte ce fait, l'attribue à l'emploi de phosphates préparés au moyen de l'acide sulfurique arsénical des pyrites.

Quant à l'arsénicage des blés, nos expériences nous font ranger du côté du plus grand nombre. En effet, nous avons semé des blés au mois d'octobre

1. Si les poisons métalliques et en particulier l'acide arsénieux pénètrent dans les plantes, entre autres dans les céréales. Rapport de Soubeiran à l'Académie de médecine. *Bulletin de l'Académie de médecine,* t. VIII, p. 866. — Note sur des expériences relatives au chaulage par l'acide arsenieux. *Comptes rendus de l'Académie des sciences,* t. XX, p. 354. 1845.

2. De la présence de l'arsenic dans les organes des plantes. *Journal de pharmacie,* t. XIX, p. 299, et t. XX, p. 320.

3. De la présence de l'arsenic dans quelques engrais artificiels et de son absorption par les plantes qui proviennent des terrains où on a employé ces engrais. *Journal de chimie médicale,* t. XXXV, p. 697.

après les avoir soumis à l'influence d'une solution arsénicale ; le 25 mai, nous avons eueilli avec précaution, en séparant du pied à quelques eentimètres de terre, eent tiges au moment où, sortant de la gaîne, l'épi eommençait à se montrer et la fleur à s'ouvrir. L'analyse séparée faite alors de la paille, des feuilles, de l'épi isolé, nous fit reconnaître l'absence de l'arsenic, dès ce moment, de l'épi ; mais la paille en contenait de très-faibles traees, et les feuilles, une quantité un peu plus grande. Des analyses, répétées plusieurs fois sur le fruit de ce blé et sur d'autres que nous savions avoir été arséniqués, ne fournirent pas de traees d'arsenic en opérant sur un kilogramme de graine.

L'arsenie ne se rencontre done dans les plantes que fort rarement, et sa présence ne peut être due qu'à des circonstances exceptionnelles.

La présence des métaux dans le règne végétal, telle que l'analyse l'a constatée jusqu'aujourd'hui, ne peut avoir aucune conséquence fâcheuse pour l'hygiène publique. Celle du zine et du euivre, par leur fréquence, pourrait attirer peut-être l'attention ; mais devant les doses retirées, l'homœopathie seule aurait sujet de s'effrayer. Ces faits sont donc d'un intérêt tout seientifique et nous n'avons pas la prétention de leur donner une autre valeur.

II

DE LA RÉPARTITION DES MINÉRAUX DANS LES DIVERS ORGANES DES VÉGÉTAUX.

Les minéraux ne se trouvent généralement pas en même proportion dans les divers organes de la plante, nous entendons relativement au poids de chaque organe à l'état sec. Des différences notables se présentent dans la distribution du métal, quand la plante n'a pas souffert pendant son absorption, par conséquent lorsque celle-ci a eu lieu en petite quantité. Si elle a eu lieu en proportiou telle que la plante en ait souffert, le sujet gorgé de composé dans les parties les plus rapproehées du point d'absorption n'est plus apte pour étudier le phénomène de la localisation.

Malgré que les analyses faites daus ee but ne soient pas en nombre suffisant pour généraliser les faits constatés, eependant il est permis d'avancer que tous les métaux ne semblent pas se répartir de même dans les divers

organes des plantes. Quelques-uns et particulièrement l'arsenic le font d'après des lois qui leur sont spéciales et qui paraissent générales pour eux, c'est-à-dire indépendantes de la nature du végétal.

MM. Chatin et Filhol ont cherché à déterminer le mode de répartition de l'arsenic dans les organes des végétaux; mais nous devons faire observer relativement au travail de M. Chatin qu'il recherche l'arsenic dans les organes des plantes qu'il a soumis à une intoxication véritable, et que l'analyse a eu lieu vingt-quatre heures après l'action du composé. Dans ces circonstances, l'acte physiologique a-t-il pu s'accomplir normalement? Enfin, les parties analysées, autant que nous pouvons le supposer, étaient vertes et par conséquent l'état d'humidité différent pour chacunes. Dans ces conditions, les proportions nécessaires à M. Chatin, de chaque partie de l'helianthus annuus pour obtenir quelques taches d'arsenic, ont été :

Réceptacle.	40 gr.
Feuilles.	50
Involucre.	50
Fruits.	70
Tiges.	100
Racines.	100
Pétales.	300

M. Filhol, dont le mode d'expérimentation nous est inconnu, et qui a opéré sur la même plante que M. Chatin, range ses organes ainsi, suivant la proportion d'arsenic qu'ils contiennent :

Receptacles,
Feuilles,
Fruits,
Tiges,
Pétales.

Le même résultat fut obtenu dans l'analyse des organes du dahlia.

M. Legrip[1], dans des analyses de parties de plantes qui avaient végété dans des terres arséniquées, a constaté que les semences, les capsules et la partie supérieure de pavots, ne contenaient pas d'arsenic, tandis que les

1. Sur l'absorption des sels métalliques par les végétaux et sur le danger de récolter sur des terres qui ont longtemps subi le chaulage avec des substances vénéneuses. *Journal de Chimie médicale*, t. XXI, p. 370. 1845.

feuilles radicales en fournissaient des traces, ainsi que les racines; que les racines alimentaires du chou-rave, de la betterave, de la carotte n'en contenaient pas dans leur pulpe, tandis que leur enveloppe épidermique et leurs feuilles en fournissaient des traces; qu'enfin la proportion était généralement plus grande dans les parties voisines du sol que dans les autres.

Un fait qui, par son importance, n'a échappé à personne, c'est l'absence de l'arsenic dans le fruit du blé arséniqué et sa presence dans le chaume et les feuilles; non-seulement cette élimination a lieu dans la graine, mais encore nous l'avons constatée dans l'épi tout entier, dès le moment de la floraison.

Pour rechercher comment l'arsenic se répartissait dans les divers organes des végétaux, nous avons semé, dans un terrain contenant cent grammes d'acide arsénieux pulvérisé par mètre carré, des graines d'Hélianthus annuus. La plupart d'entre elles ayant levé, nous n'avons conservé que le nombre de pieds convenables pour qu'ils ne souffrent pas dans leur végétation. On arracha ces plantes au moment où la graine du capitule principal étant bien formée, les fleurs des capitules secondaires étaient bien épanouies. On a alors séparé les racines qui furent lavées et râclées avec soin, préférant en perdre les radicelles que de ne les pas avoir assez nettes; les tiges furent coupées en petits morceaux; on sépara les feuilles en deux lots, celles du haut de la tige et celles du bas. Le réceptacle fut débarrassé des bractées, et celles-ci mises à part, ainsi que les fleurs et les fruits. Toutes ces parties furent séchées à l'étuve, et un poids égal de chacune, arrivée au même degré de siccité (250 grammes), fut traité comme suit : Les matières, divisées en petits fragments, étaient introduites dans une cornue tubulée contenant du chlorure de sodium fondu ; on ajoutait assez d'eau pour que le tout trempât. La cornue était munie d'un tube de sûreté à sa tubulure; elle communiquait avec un récipient bitubulé dont le tube de dégagement se rendait dans deux éprouvettes placées à la suite l'une de l'autre, et contenant de l'eau distillée. On chauffait, après avoir introduit de l'acide sulfurique par le tube de sûreté. Le gaz chlorhydrique naissant réduisait l'arsenic en chlorure et l'entraînait dans le récipient. Après quelque temps on retirait le liquide distillé du récipient, et il était joint à l'eau contenue dans les éprouvettes. Les liqueurs obtenues ainsi étaient amenées

au même volume pour le même poids de matières sèches qui avaient été employées dans l'opération, et, en comparant la quantité nécessaire de chaque liqueur, pour obtenir des taches sensibles au même appareil de Marsh, disposé également pour chaque expérience, nous sommes parvenus, dans une moyenne de trois séries d'expériences, à établir les rapports suivants entre les doses d'arsenic contenues dans les divers organes.

Si nous représentons par un la quantité d'arsenic contenue dans les fleurons, celle des autres organes sera trois pour les racines, les tiges, les bractées ; quatre pour les feuilles du haut de la tige et les fruits ; cinq pour le réceptacle et six pour les feuilles du bas de la tige, c'est-à-dire les premières poussées.

D'après ces analyses, d'après celles que nous avons citées du froment, l'arsenic semble diminuer dans les organes à mesure qu'ils s'éloignent du sol. Nous devons rappeler aussi ici une remarque de M. Chatin sur la coïncidence entre les lésions des tissus du sommet des pédoncules et la proportion relativement considérable d'arsenic accumulé en ce point.

Tous les métaux ne semblent pas se répartir de même que l'arsenic dans les divers organes du végétal, leur dissémination paraît en général plus régulière et soumise à une loi plus naturelle. Les seuls faits d'exception que nous connaissions sont la localisation du cuivre, dans le son préférablement à la farine reconnu par M. Sarzeau, et celui d'une branche de vigne qui, trempée dans une solution de cuivre, n'a pas fourni ce métal aux raisins qu'elle portait d'après M. Louyet. Ce dernier fait ne peut être considéré que comme une exception ; car dans les mêmes circonstances ayant opéré sur des branches chargées tantôt de verjus en petits grains, tantôt de raisins approchant de leur maturité, nous avons trouvé du cuivre jusque dans les pépins. Ce phénomène est d'ailleurs identique à la salure des raisins provenant de vignes végétant dans un terrain chargé de chlorure de sodium.

Le cuivre a été le composé que nous avons préféré pour nos expériences de localisation, comme étant le plus facile à déceler en petite quantité, et aussi celui dont il est plus commode de déterminer la quantité, les doses étant impondérables.

Nos expériences ont porté sur des plantes pouvant offrir en même temps

des feuilles, des fleurs et des fruits. L'Helianthus annuus, et le Pisum sativum ont été les plantes choisies pour fournir des analyses comparatives sur tous les organes, tandis que nous en faisions d'autres sur la feuille, le chaume, la balle et la semence du froment.

Ces diverses plantes étaient venues dans un terrain préparé avant les semailles par des arrosages au sulfate de cuivre, la dose restée libre dans le terrain était assez forte pour qu'une partie des pois pérît à peine levés.

Les pois furent coupés au moment où les pieds portaient en même temps des fleurs et des fruits; les Helianthus furent pris au moment de la formation de la graine du capitule principal, enfin le blé un peu avant la maturité complète du grain.

Tous les organes, feuilles, tiges, fleurs, etc., furent séparés et séchés; cinquante grammes de chaque partie sèche furent analysés.

On incinérait ces substances jusqu'à complète destruction de la matière organique; les cendres obtenues étaient traitées par une petite quantité d'acide chlorhydrique additionné d'acide nitrique. L'excès d'acide étant évaporé, on reprenait par une petite quantité d'eau distillée, et on versait un grand excès d'ammoniaque. Toutes les cendres subirent le même traitement; le volume d'eau et celui d'ammoniaque étaient les mêmes pour chacune; les liquides étant placés dans des tubes exactement pareils, il fut facile par l'examen comparatif de leur coloration d'établir le classement suivant dans les divers organes relativement à la quantité de cuivre contenue dans chacun d'eux.

Pisum sativum.	Helianthus annuus.	Triticum sativum.
Feuilles.	Feuilles inférieures et supérieures.	Feuilles.
Tiges.	Tiges, réceptacles, bractées, semences.	Tige.
Gousses.	Pétales.	Balles.
Semences.		Semences.
Pétales.		

Nous devons ajouter que les différences entre les feuilles, les tiges et les fruits des Légumineuses sont presque insensibles, que les pétales seuls se remarquent par une quantité beaucoup plus faible, presque nulle. Dans les Helianthus, c'est à peine si nous avons pu trouver des différences, sauf pour les fleurons; dans le blé elles sont plus sensibles, tout en étant peu appréciables.

Ces expériences, que nous regrettons de n'avoir pu étendre aux composés des autres métaux, sont assez dissemblables dans leurs résultats de celles que nous avons rapportées concernant l'arsenic, pour que nous admettions une différence dans la répartition de ce dernier corps, sans pour cela l'attribuer à aucune cause apparente. Ayant connu trop tard l'absence du cuivre dans la fécule de pomme de terre, nous regrettons de n'avoir pu expérimenter sur les composants de ce tubercule dans des conditions convenables.

Il résulte de ces analyses, qu'en général l'enveloppe colorée des fleurs est douée d'une propriété particulière qui lui permet de choisir dans les aliments que lui apporte la circulation; que cet organe seul jouit de cette faculté, et que si elle semble exister dans d'autres, les résultats en sont peu marqués; qu'ils peuvent être appliqués aussi bien à des causes étrangères; que peut-être on doit à cette faculté de répulsion des organes de la fleur l'accumulation des composés métalliques au réceptacle agrégat de pédoncules?

III

DE LA TRANSFORMATION DES COMPOSÉS MINÉRAUX ABSORBÉS, SOUS L'INFLUENCE DU VÉGÉTAL.

Quand un composé minéral soluble est absorbé par un végétal, en assez petite quantité pour qu'aucun accident ne signale l'absorption, après un temps assez court, ce composé est transformé et le plus souvent sous forme insoluble.

S'il nous est permis d'avancer cette proposition, nous ne pouvons faire que des hypothèses sur le genre de combinaison dans lequel entre le métal.

L'absence complète de composé métallique dans la partie insoluble des plantes, qui ont été soumises à leur action, lorsque le temps entre l'absorption et l'analyse a été court, constatée par plusieurs auteurs, nous permet de supposer que, lorsque tout le composé se retrouve dans la partie insoluble bien lavée à l'eau, celui-ci est devenu insoluble sous l'influence de la végétation et non par l'acte mécanique du mélange des liquides qui

a lieu, lors de la séparation de la partie soluble de la partie insoluble du végétal.

Lorsque nous avons rencontré le composé métallique dans la partie insoluble du végétal, nous l'avons donc considéré comme ayant pris cette forme sous l'influence de la vie organique.

Les sels de fer et de manganèse, ayant été presque toujours recherchés dans les cendres des végétaux, s'y sont trouvés à l'état d'oxyde ou combinés avec des acides et des corps que la chaleur ne peut détruire; cet état n'est que le résultat de la décomposition de sels végéto-minéraux, le plus souvent insolubles comme nous l'avons constaté. Quelquefois ces combinaisons minérales ont été regardées comme étant toutes formées dans le végétal. Vauquelin pense que le fer est à l'état de phosphate dans la gratiole et dans le Salsola tragus[1]; M. Sarzeau considère le manganèse et le fer comme faisant partie du règne végétal toujours à cet état. Cependant, l'action des sels de fer sur la vie végétale, sur la formation de la chromule, ne permet-elle pas de supposer à ce corps la propriété d'entrer dans une combinaison organique où il reste fixé? Nous ne devons pas considérer cet état comme général, car Vauquelin a retiré du fer du suc de belladone[2]; M. Chevreul a obtenu du gallate de fer dans le traitement du liége par l'eau[3]; M. Payen a trouvé du malate de fer dans le suc de la betterave[4]; MM. Payen et Henry fils ont reconnu le même sel dans la patate douce à peau rose[5]; enfin, M. Fauré a trouvé du tartrate de fer dans le vin de Bordeaux, et c'est à ce sel qu'il attribue les propriétés fortifiantes particulières des vins de cette contrée[6].

Comme on le voit, les sels de fer ont pu être rarement déterminés dans les végétaux, les essais tentés avec les divers dissolvants neutres et acides ne donnent aucun résultat précis.

D'après un mémoire présenté à la Société des géorgiphiles de Florence

1. *Bulletin de pharmacie*, t. I, p. 481. 1809. — *Dictionnaire des découvertes*, t. XIV, p. 57.
2. *Bulletin de pharmacie*, t. IV, p. 176. 1809.
3. *Annales de chimie*, t. XCVI, p. 141. 1815.
4. *Journal de Chimie médicale*, t. I, p. 386. 1825.
5. *Journal de Chimie médicale*, t. II, p. 26. 1826.
6. *Journal de pharmacie*, t. VI, p. 200. 1844.

par M. Bechi [1], lorsque l'on fait absorber des sels de fer, soit au maximum soit au minimum par les plantes, ceux-ci s'y retrouvent toujours au minimum.

Tout en constatant la présence du zinc à l'état insoluble dans les végétaux, nous n'avons pu avoir sur l'état où il se trouve de données plus exactes que pour le fer.

Quant au cuivre, dans les plantes dont il fait partie normalement, il est probable qu'il doit s'y trouver souvent à l'état de combinaisons organo-métalliques, et nous basons cette opinion sur ce que l'absorption de ce métal a lieu sous forme d'une dissolution ammoniacale, qui, devant former les éléments azotés de la plante, se décompose sur place et abandonne le cuivre dans les nouveaux organes formés.

Lorsque l'on soumet une plante (balsamina hortensis) à l'action du sulfate de cuivre dissous, après 48 heures d'action, la plante étant débarrassée du sel non décomposé par un traitement à l'eau distillée, on retrouve dans les diverses cavités du végétal un sel insoluble bleu dont l'acide sulfurique fait partie ; si l'action est prolongée quelque temps et modérée, les cavités ne renferment bientôt plus qu'une substance rouge, soluble dans l'ammoniaque et ayant tous les caractères de l'oxyde de cuivre.

Dans les plantes intoxiquées par les composés de ce métal, la réduction a donc toujours lieu.

L'argent absorbé à l'état de combinaison soluble par les végétaux, lorsque surtout la plante se trouve exposée à l'action de la lumière, est bientôt réduit à l'état métallique, et se comporte avec la plante vivante comme en présence des matières organiques.

M. Bouchardat a retrouvé en même temps ce métal à l'état de chlorure ; quant à nous, nous n'avons jamais pu retirer de composés argentiques par des lavages de la plante à l'ammoniaque, lorsqu'elle ne contenait plus de sels solubles dans l'eau, ce qui nous fait supposer que cette action n'est pas générale et qu'elle n'a lieu que lorsque le sel est absorbé en trop grande quantité.

Les sels d'or sont réduits aussi par le végétal.

Le mercure, lorsqu'il est absorbé sous la forme de chlorure soluble, sem-

1. *Journal d'agriculture pratique*, 4e série, t. III, p. 104. 1855.

ble se transformer immédiatement en sous-chlorure, plutôt que de se combiner avec les matières albumineuses, sans cependant que nous affirmions que cette action n'ait pas lieu pour une partie du sel.

Lorsqu'on soumet une jacinthe qui a végété dans l'eau, et dont les racines sont dans un état parfait de végétation à l'action d'une solution de bichlorure, ses racines deviennent bientôt opaques, tandis que la solution de cyanure de mercure n'oblitère nullement les racines d'une même plante soumise à son action, ce qu'elle ferait sûrement aussi bien que celle de bichlorure, si cet effet était dû à une formation insoluble organo-mercurielle. D'ailleurs les fibres des racines soumises, après des lavages multipliés et une macération prolongée dans l'eau distillée, à l'action de l'iodure de potassium, prennent la teinte verte jaunâtre du proto-iodure de mercure, et la potasse les colore en noir, réactions indiquant évidemment une réduction du bichlorure.

Les faits que nous avons observés sur la transformation des composés métalliques dans les végétaux sont en général des faits de réduction ; la matière végétale vivante a donc une action analogue à celle de la matière organique dépourvue de la vie ; mais cependant, lorsque la molécule métallique entre en combinaison intime avec les parties composantes du végétal, il ne nous semble pas essentiel que cette réduction ait lieu.

M. Chatin a conclu de la combinaison du chlorure de calcium, avec l'acide arsénieux dans les plantes intoxiquées précédemment par cet agent, que dès son absorption, l'acide arsénieux formait un arsenité soluble dans les vaisseaux du végétal ; mais ici nous n'avons pour garant qu'une expérience provoquée sur un sujet dans un état anormal.

Dans les pailles des blés traités par l'acide arsénieux, l'arsenic s'y retrouve à l'état insoluble ; les faits font supposer dans ce cas une combinaison ; mais a-t-elle lieu nécessairement avec les bases contenues dans le végétal, ou bien avec les matières organiques elles-mêmes ? dans ce cas n'y aurait-il pas un phénomène de substitution ? l'acide arsénique très-rapproché de l'acide phosphorique ne remplirait-il pas sa place dans la plante, malgré que cette substitution exige une oxydation ?

TROISIÈME PARTIE

Recherches sur l'Absorption et l'Excrétion des Composés minéraux par les Plantes.

Dans les parties précédentes, nous avons passé en revue l'action complète des composés minéraux dont nous nous occupons sur les organes de la plante; nous allons rechercher maintenant le rôle que les fonctions vitales assignent à ces divers organes dans les phénomènes d'assimilation et d'élimination de ces matières.

I

DE L'ABSORPTION DES COMPOSÉS MINÉRAUX PAR LES RACINES.

Les composés minéraux que l'on rencontre dans les plantes sont empruntés par celles-ci au terrain dans lequel elles croissent. La composition élémentaire similaire du sol et des cendres des végétaux, constatée dans des expériences multipliées, prouve que les minéraux contenus dans les plantes ne sont pas de formation organique.

Non-seulement cette introduction des éléments inorganiques dans les végétaux a été attribuée à des causes étrangères aux forces vitales du végétal, mais encore on a été jusqu'à nier dans la plante entière les résultats de l'analyse, et à considérer les spongioles de la racine comme des organes capables de discerner dans une solution multiple les éléments nuisibles des éléments nécessaires à la nutrition. On a regardé la présence des composés minéraux dans les plantes comme le résultat d'une action purement mécanique; les spongioles, en présence des solutions corrosives, suivant la plupart des physiologistes, ont été détruites, et l'absorption s'est faite par imbibition, capillarité, endosmose. Qu'il en soit ainsi dans les expériences

provoquées, lorsque l'on plonge les racines des plantes dans des solutions concentrées de sels métalliques, nous l'admettons; toutefois, même dans ce cas, une partie de la liqueur s'est introduite avant la destruction des spongioles, et cette introduction cependant n'a pas eu lieu par un autre organe. Mais on ne peut révoquer en doute l'absorption pure et simple, par les spongioles, des liqueurs nourricières de la plante, contenant des traces de matières nuisibles solubles échappant presque à nos réactifs les plus sensibles. En effet, s'il en était autrement dans ces plantes végétant dans un sol contenant le cuivre et l'arsenic, et qui les renferment dans toutes leurs parties, il faudrait admettre une destruction, et par suite une formation incessante des spongioles, sans lesquelles ces végétaux ne tarderaient pas à périr.

Les spongioles ne jouissent donc pas de la faculté séparative, et quelques expériences que nous avons réalisées tendent à le confirmer. Des jacinthes de même force, poussées dans l'eau et ayant leurs racines bien intactes, furent disposées le 1er février dans des vases contenant des solutions au centième d'acide arsénique, d'acide arsénieux et de sulfate de cuivre; en même temps d'autres jacinthes, que l'on avait privées de leurs spongioles en coupant les extrémités des racines, furent disposées dans les mêmes solutions : les symptômes identiques de souffrance chez les unes et les autres se montrèrent après les temps suivants :

	Jacinthes à racines entières....	J. à rac. coupées.
Acide arsénique....	trente-six heures..........	quarante-huit heures.
Acide arsénieux....	quatre-vingt-dix-neuf heures...	quatre-vingt-douze heures.
Sulfate de cuivre...	six jours...............	dix jours.

Ces résultats, concluants pour l'acide arsénique et le sulfate de cuivre, le sont encore pour l'acide arsénieux, car on ne peut admettre que les spongioles aient été détruites en sept heures dans un liquide qui en met quatre-vingt-douze à attaquer les autres organes.

Ces expériences, renouvelées sur des tiges de Polygonum orientale chargées de racines adventives, après un long séjour dans l'eau et préparées comme les jacinthes, ont donné les mêmes signes de souffrances après les temps d'action suivants :

	Polygonum à racines entières...	Pol. à racines coupées.
Acide arsénique....	vingt-neuf heures........	trente-quatre heures.
Acide arsénieux....	quarante-huit heures........	cinquante-huit heures.
Sulfate de cuivre...	trois jours...............	trois jours.

En s'appuyant sur ces résultats et sur la présence des minéraux toxiques dans les plantes à l'état normal, la faculté séparative des éléments nourriciers et des composés minéraux nuisibles par les spongioles des racines ne peut être admise.

Les molécules minérales qui ont traversé les spongioles parcourent le même chemin que les liquides alimentaires qui leur servent de véhicule; aussi les voit-on laisser quelquefois des traces de leur passage dans les vaisseaux de la plante par une coloration; mais le plus souvent ces indices sont difficiles à saisir, car le vaisseau n'est pas attaqué, et les réactifs peuvent alors seuls constater le passage et la présence du composé, comme Link [1] l'a fait voir. Ayant placé des pots contenant diverses espèces de végétaux dans une solution de cyanoferrure de potassium, il les transporta huit jours après dans une solution de sulfate de sesquioxyde de fer. Au bout de vingt-quatre heures, les plantes, examinées au microscope, présentaient des teintes bleues dans le tissu vasculaire, et les cellules n'étaient nullement colorées. Le passage par les vaisseaux est encore démontré par la coloration interne des vaisseaux vasculaires de la Balsamina hortensis, par celle de l'étui médullaire de l'Helianthus annuus, lorsque ces plantes ont été soumises à l'action de l'arsenic à haute dose.

Rainey [2] considère les méats intercellulaires comme le chemin suivi par les solutions métalliques, et il s'appuie sur ce qu'une branche de valériane rouge, qu'il avait placée dans une solution de bichlorure de mercure, ne contenait pas de composés de ce métal dans les cellules et les vaisseaux; que les méats seuls renfermaient du calomel. Nous ne devons pas nous arrêter à ce fait, car l'action vitale n'était plus seule en jeu, l'expérience se

1. Sur les trachées des plantes. *Annales des sciences naturelles*, 1re série, t. XXIII, p. 145. 1831.

2. Recherches expérimentales sur la cause de l'ascension et du mouvement de la séve dans les végétaux. *L'Institut*, n° 508. 1843.

faisant sur une branche sans racines, offrant au liquide toutes ses cavités capillaires pour en provoquer l'ascension.

La solution amenée par les vaisseaux dans les feuilles se répand et commence, si elle n'a pas été décomposée par les sucs contenus dans la séve, à exercer son action sur les cellules voisines. En effet, cette liqueur, plus ou moins étendue sous l'influence de la transpiration, se concentre et agit alors à la manière des corrosifs sur les cellules en contact. Cette action est évidente dans les végétaux soumis à l'action des solutions métalliques étendues : ce sont toujours les parties du parenchyme voisines des nervures qui perdent les premières leur turgescence, et peu à peu cet effet gagne toute la feuille.

Si la liqueur est trop étendue et ne produit pas d'accidents, elle continue sa route avec la séve descendante, en tendant toutefois à disparaître dans le végétal, comme le prouve l'analyse.

II

DE L'EXCRÉTION DES COMPOSÉS MINÉRAUX PAR LES VÉGÉTAUX.

La fonction de l'excrétion a été longtemps méconnue des physiologistes; aujourd'hui, tous ne l'admettent pas encore. Nous ne décrirons pas les diverses phases de son histoire, les faits sur lesquels s'appuient ses défenseurs et ses détracteurs ; nous la diviserons, au contraire, et ne l'étudierons que dans une partie de ses effets, l'excrétion des substances minérales nuisibles, absorbées précédemment par les racines du végétal.

L'élimination des substances minérales des végétaux, entrevue par Macaire et qu'il chercha à démontrer par une expérience dont il n'apprécia pas complétement les circonstances, a été recherchée depuis par Walser[1], par Unger[2] et quelques autres qui ne l'admirent pas, parce qu'ils ne purent reconnaître l'organe par lequel elle s'effectuait.

1. Recherches sur les sécrétions des racines. *Annales des sciences naturelles*, 2e série, t. XIV, p. 100. 1840.

2. Cité par Meyen. Rapport sur les progrès de la physiologie végétale pendant l'année 1836. *L'Institut*, p. 87. 1838.

M. Chatin est le premier qui, constatant par l'analyse la disparition des composés arsénicaux dans des plantes qui en avaient absorbé, à mesure que l'on s'éloignait de l'époque de l'absorption, démontra l'existence certaine de cette fonction. Depuis, les travaux de M. Filhol et de M. Cauvet[1] confirmèrent les résultats obtenus par M. Chatin.

Nos expériences pour constater cette élimination des composés minéraux, sans présenter des résultats aussi nets que ceux obtenus par M. Chatin, qui vit la disparition complète des composés introduits, sont assez concluantes et méritent d'autant plus d'être citées qu'elles ont été faites sur des plantes alimentaires qui, dans quelques circonstances de l'économie agricole, se trouvent en présence des produits minéraux qui nous ont servi à les réaliser.

Du blé arseniqué par immersion de la graine dans une solution concentrée d'acide arsénieux, et semé dans plusieurs pots au mois de novembre 1861, fut analysé depuis à diverses époques. En décembre, les liqueurs provenant du traitement par l'acide chlorydrique naissant de la tige et des feuilles de cinquante pieds, nous donnaient des traces d'arsenic, très-appréciables à l'appareil de Marsh. Au mois de janvier, une seconde analyse nous donnait les mêmes résultats; mais en février et mars, nous n'obtînmes de résultats comparables aux précédents qu'avec les liqueurs fournies par cent tiges, et la même quantité de pieds, lors de notre dernière analyse, ne nous permit pas de constater d'une manière certaine l'arsenic. La quantité trop faible de produit fut la seule cause; car dans des expériences répétées depuis sur des blés arséniqués, mais poussés dans d'autres circonstances, la paille, comme nous l'avons dit précédemment, contenait de l'arsenic encore au moment de la récolte.

Nous avons pu de même constater par des analyses faites sur des blés semés dans des pots, arrosés avec une solution de sulfate de cuivre et depuis fort souvent avec de l'eau pure pour débarrasser la terre de ce métal, une diminution dans la quantité de cuivre contenue dans un même nombre de tiges, égale à la moitié de ce qui avait été trouvé quatre mois plus tôt.

1. Études sur le rôle des racines dans l'absorption et l'excrétion. — Thèse pour le doctorat ès sciences. Strasbourg, 1861.

Nos expériences, probablement continuées trop peu de temps sur diverses espèces de végétaux, ne nous ont jamais permis de constater la disparition complète du composé minéral que M. Chatin a obtenu après trois mois dans l'Helianthus annuus, et après cinq mois dans le Ricinus communis soumis à l'action d'une solution arsénieuse.

Une condition essentielle pour que l'excrétion ait lieu, est la disparition complète du composé dont on veut obtenir l'excrétion du sol qui nourrit la plante, ou sa transformation en composé insoluble dans les diverses liqueurs absorbées par le végétal. En cas contraire, la quantité tendra à augmenter, et ce fait pourrait être à redouter par suite de l'emploi répété d'engrais artificiels qui, comme nous l'avons dit, renferment différents métaux solubles dans les liqueurs nourricières des plantes.

Les circonstances atmosphériques les plus favorables à l'excrétion sont évidemment les contraires de celles qui augmentent l'absorption.

III

RECHERCHE DES ORGANES D'EXCRÉTION.

L'excrétion constatée, et comme nous l'avons vu l'analyse la démontre d'une façon évidente, il nous reste à rechercher quels organes sont employés dans l'accomplissement de cette fonction. Nos expériences ont porté sur deux organes, les racines et les feuilles; les résultats que nous avons obtenus, sans avoir l'importance de faits toujours accomplis dans des circonstances normales, ne méritent pas moins par leur ensemble de fixer l'attention.

Du rôle des racines dans l'excrétion. — Lorsqu'on soumet une plante à racines entières, poussée soit dans l'eau, soit dans la terre, à l'action d'une solution concentrée d'acide arsénieux ou de sels métalliques, l'action destructrice que celle-ci exerce sur ces organes les empêchera ensuite d'agir normalement. Pour éluder cette première difficulté, nous n'avons étudié le rôle des racines dans l'excrétion que dans des plantes soumises à des doses faibles de composés ou les ayant absorbés par des organes autres que les racines.

Du blé arseniqué par immersion dans une solution concentrée d'acide arsénieux fut semé dans un vase en porcelaine contenant du sable lavé et calciné; la moitié des grains germa et se développa. Six semaines après le pot fut porté dans l'eau, et par des secousses ménagées, le sable fut enlevé complètement, les jeunes plantes restées seules avec leurs racines intactes furent lavées avec soin, et on leur enleva les restes de l'endosperme qui pouvait contenir du composé arsénieux introduit par imbibition. Ces plantes furent ensuite placées dans un nouveau vase en porcelaine percé dans sa partie inférieure, les racines furent entourées avec précaution de sable préparé comme le précédent et exempt d'arsenic, comme l'analyse l'avait prouvé. Chaque jour le blé était arrosé et l'excédant d'eau s'écoulant par l'ouverture pratiquée à la partie inférieure du vase était abandonné. Un mois après la transplantation, lorsque l'on put affirmer que les plantes étaient à leur état normal, on eut le soin de recueillir chaque jour l'eau en excès des arrosages qui avait lavé le sable. Le résidu fourni par l'eau de cinquante jours consécutifs, évaporée chaque jour au bain-marie dans la même capsule en présence d'une légère quantité de potasse caustique, fut traité par l'eau régale et l'appareil de Marsh. Nous obtînmes des traces bien faibles mais cependant sensibles d'arsenic. Le sable séparé alors des plantes, au moyen de l'eau, fournit aussi par le traitement à l'eau régale une liqueur donnant des taches d'arsenic à l'appareil de Marsh; toutefois nous devons faire observer que quelques racines s'étaient détruites et que leurs restes se trouvaient dans le sable.

Une seconde expérience faite simultanément sur du blé traité par le sulfate de cuivre, les mêmes conditions ayant été rigoureusement observées, a fourni un résultat identique, malgré que dans ce second cas aucune racine ne paraissait s'être détachée des plantes.

L'expérience de Macaire, répétée avec des solutions au centième et au millième d'acide arsénieux, de sulfate de cuivre, de nitrate de plomb, ne nous donna aucun résultat favorable.

Nous avions pris des jacinthes, poussées dans l'eau, prêtes à fleurir dans un état de santé parfait. Les racines étaient bien lavées, et on plaçait le bulbe sur une table; les racines partagées en deux parties, une dirigée d'un côté, l'autre de l'autre, étaient appuyées de distance en distance sur des

coussinets en papier joseph et entourées d'anneaux de cette même substance. L'extrémité d'une partie des racines plongeait dans la solution, tandis que l'autre se rendait dans un vase contenant de l'eau distillée. Au bout de quelques jours, lorsque les accidents se montraient dans la plante, l'eau distillée était analysée et on n'y trouvait aucun composé métallique, tant que les racines restaient turgides.

En plaçant le composé à l'état pâteux dans le bulbe, les racines baignant dans l'eau distillée, celle-ci conserva sa pureté, tant que les racines conservèrent leur vitalité.

Nous croyons devoir attribuer ces résultats à la promptitude avec laquelle les racines sont atteintes et au peu de temps qu'elles fonctionnent à l'état sain; aussi variâmes-nous cette expérience en employant, comme l'a fait M. Cauvet, des plantes à coulants et nous servant de solutions étendues.

Des Ranunculus repens et divers Fragaria furent transplantés dans des pots contenant de bonne terre végétale; les coulants qu'ils portaient ayant à peine les racines développées étaient déposés sur des vases contenant du sable fin humecté d'eau. Au bout de quelque temps, lorsque la plante se trouvait dans toute sa force, on dégageait les racines des coulants du sable qui les entourait au moyen de lavages répétés; les racines bien nettes et nullement endommagées étaient plongées dans un vase contenant de l'eau distillée. Le tout étant ainsi disposé, la plante-mère était soumise à des arrosages journaliers avec des solutions au dix-millième d'acide arsénieux, d'émétique, de sulfate de cuivre. La mort qui n'atteignait la plante-mère qu'au bout d'un temps assez long, bornait là, en général, ses ravages, et les coulants continuaient à végéter, repoussant probablement l'élément empoisonné de la plante-mère, et ne cherchant leur alimentation que dans l'eau qu'ils absorbaient par leurs racines propres, choisissant ainsi entre deux fluides affluant par deux voies différentes.

Les analyses des diverses parties des végétaux nous ont indiqué la présence, en petite quantité il est vrai, des substances absorbées par la plante-mère dans les sujets portés sur les coulants; mais toutes celles faites des liquides dans lesquels plongeaient leurs racines, n'ont pu nous faire déceler des traces de ces matières.

Ayant arrosé ensuite les plantes-mères de sujets disposés de même avec des solutions concentrées, la mort se répandit en un temps assez court dans les deux ou trois sujets que portaient les coulants, et nous pûmes déceler dans l'eau où plongeaient leurs racines la présence du sel de cuivre bien avant le moment où leurs feuilles étaient mortes. Mais l'arsenic et l'antimoine ne s'y trouvèrent qu'au moment où les racines elles-mêmes étaient attaquées.

Pensant que dans ces expériences le courant contraire établi par les racines des coulants pouvait s'opposer à l'excrétion en empêchant tout d'abord l'absorption des liquides venant de la plante-mère, nous répétâmes nos expériences en faisant pénétrer les racines des coulants dans du sable bien lavé et sec au lieu d'eau. Les solutions absorbées par la plante-mère étaient très-étendues ; la mort n'arriva qu'après plus d'un mois avec les solutions d'acide arsénieux et d'émétique ; la solution de sulfate de cuivre semblait presque sans influence. Les jeunes sujets furent débarrassés, après trente jours d'arrosage de la plante-mère, du sable dans lequel plongeaient leurs racines ; elles étaient en assez bon état, peu développées et avaient formé autour d'elle avec leurs excrétions et le sable environnant une espèce d'enduit. Celui-ci fut enlevé avec précaution, sans que la racine fût attaquée, et réuni au sable environnant. L'analyse y décela la présence des métaux que la plante-mère avait absorbés.

Ces dernières expériences, il est vrai, exécutées dans des conditions anormales, les racines étant avant tout des organes d'absorption, viennent cependant s'ajouter aux résultats que nous avions précédemment obtenus dans des circonstances normales, pour nous faire regarder les racines comme un des organes excréteurs des composés minéraux nuisibles absorbés par les plantes.

Du rôle des feuilles dans l'excrétion. — Ne pouvant fixer la quantité de composé excrété par les racines, nous avons recherché si les feuilles ne prenaient pas part à cette fonction physiologique.

L'excrétion par les feuilles pouvait avoir lieu de deux manières, soit par volatilisation, lorsque le corps est susceptible de former des composés gazeux, soit par extravasation en formant des efflorescences à la surface des feuilles, ou se combinant aux diverses excrétions de celles-ci.

Les composés de l'arsenic et de l'antimoine, sous l'influence de l'hydrogène, gaz qui se produit dans la végétation, pouvant former un corps volatil, furent choisis pour rechercher ce premier genre d'excrétion.

M. Chatin avait déjà analysé sans résultats l'atmosphère de cloches sous lesquelles germait du cresson alénois semé dans un sol arseniqué ; l'analyse des atmosphères d'autres cloches dont il avait couvert des Agaricus micaceus empoisonnés, plantes plus propices à l'excrétion par l'hydrogène qu'elles dégagent dans l'acte de la respiration, ne lui furent pas plus favorables.

M. Cauvet, s'appuyant sur la possibilité de l'entraînement d'éléments salins par l'eau évaporée des feuilles, rechercha dans l'atmosphère d'une cloche où il avait enfermé un sujet de Nicotiana rustica empoisonné par l'acide arsénique, la présence de l'arsenic. Il avait introduit les racines de la plante dans un flacon contenant la solution et fermé hermétiquement autour de la tige au moyen d'un bouchon percé et fendu ; par ce moyen, il avait évité toute évaporation du flacon. Le tout ainsi disposé avait été placé dans une terrine et recouvert par une cloche le soir, afin de profiter de l'évaporation plus abondante du matin. Il avait recueilli le liquide mouillant la cloche, la terrine et les feuilles, et l'avait introduit dans un appareil de Marsh. Il conclut du résultat de cette expérience que l'acide arsénique était excrété en partie par les feuilles et entraîné par l'eau transpirée.

Dans cette expérience, les deux fonctions des feuilles, entraînement par volatilisation et par extravasation, sont réunies ; comme il y a deux modes différents d'excrétion à examiner, l'expérience doit être répétée sous deux formes différentes ; c'est ce que nous avons entrepris de réaliser, en opérant comme nous allons dire.

Un Pelargonium capitatum assez gros en pot fut soumis à l'action d'une solution d'acide arsénieux au dix-millième, en faisant plonger le fond du pot dans une terrine contenant la liqueur. Le pot fut recouvert complétement au moyen de deux planches se joignant au centre par une rainure, et laissant une petite ouverture pour le passage de la tige, qui fut complétement bouchée avec de la cire molle. La partie extérieure de la plante ainsi isolée de la source de poison était recouverte d'une cloche garnie

d'une tubulure à la partie supérieure. Les bords de la cloche reposaient dans une rigole en zinc pur contenant de l'eau distillée et fixée sur la planche avec de la cire molle. Un trou pratiqué au centre de la planche donnait passage à un tube en verre qui faisait communiquer l'intérieur de la cloche avec l'air extérieur. La tubulure supérieure de la cloche donnait passage à un tube qui se rendait à un aspirateur d'un volume double de celui de celle-ci, et qui portait dans son parcours deux tubes de Liebig, renfermant des solutions l'un de nitrate d'argent, l'autre de potasse caustique. Matin et soir, pandant vingt jours, l'air de la cloche était renouvelé en vidant complétement l'aspirateur. L'air qui avait séjourné autour de la plante était débarrassé des composés arsénicaux qu'il pouvait contenir par son passage à travers les tubes de Liebig. L'expérience terminée, l'analyse des solutions contenues dans les tubes, et de l'eau garnissant la rigole de zinc, ne décela aucune trace d'arsenic.

Les résultats furent tout aussi négatifs pour un sujet soumis à l'action de l'émétique à petite dose dans les mêmes conditions.

De ces expériences, des résultats obtenus par M. Chatin, nous croyons pouvoir conclure que l'excrétion n'a pas lieu sous forme de composé gazeux, ni par entraînement par la vapeur d'eau. L'expérience double de M. Cauvet ne peut, par la façon même dont elle a été faite, donner de doute sur cette conclusion.

Les feuilles pourraient excréter par simple extravasation, comme les racines.

Ce fait a été observé souvent par les expérimentateurs qui, pour étudier l'action des composés toxiques sur les plantes, les ont employés à haute dose.

Vogel constata le premier sur les feuilles de l'Helianthus empoisonné par le sulfate de cuivre des efflorescences bleuâtres de ce composé. Mais ce n'est pas dans des circonstances semblables que l'on doit rechercher une fonction normale; ce n'est pas après un empoisonnement en règle ayant déterminé la mort que l'on doit rechercher une fonction physiologique.

L'expérience de M. Cauvet faite, elle aussi, sur une plante soumise à une action promptement mortelle, ne doit pas fixer davantage l'attention; des

plantes saines soumises à une action extrêmement faible peuvent seules éclairer sur les fonctions des feuilles.

Des Helianthus, des Cheiranthus, des Phaseolus, des Triticum soumis à l'action de solutions étendues d'acide arsénieux, d'émétique, de nitrate de plomb, de sulfate de cuivre, dans une chambre à l'abri de tout contact extérieur, arrachés après cinq jours, dix jours, vingt jours d'action, n'ont jamais fourni par le lavage immédiat de leurs feuilles à l'eau distillée de traces des composés qu'ils avaient absorbés.

L'excrétion par extravasation n'existe donc pas à l'état normal, et la maladie de la plante, occasionnée par l'action trop vive du composé absorbé, peut seule la déterminer.

Relativement aux feuilles, quelques cas particuliers ont attiré encore notre attention. D'après M. Cossa[1], les gouttelettes que l'on trouve chaque matin à l'extrémité de la première feuille des graminées sont le moyen d'excrétion qu'emploie cette famille à l'égard des composés non assimilables absorbés par les racines. Pour vérifier le fait, nous recueillîmes en plusieurs jours cinq grammes environ de cette liqueur sur du blé arséniqué et cuprifère. Pour l'un et pour l'autre, l'analyse ne donna que des résultats négatifs.

M. Chatin ne retrouva pas davantage d'arsenic dans la cire qu'excrètent les feuilles de choux et de navets, les fruits de prunier, dans les sécrétions acides des pois chiches, empoisonnés avec l'acide arsénieux.

Mais un fait qui, sans avoir l'importance d'un phénomène physiologique constant, n'en a cependant pas moins son intérêt, fut observé pour la première fois par Vever. Cet expérimentateur remarqua que l'orge poussée dans un terrain contenant des sels de cuivre perdit ses feuilles et continua ensuite à croître. Il trouva que ses feuilles contenaient plus de cuivre que le reste de la plante. Ce retranchement, que nous avons vu se réaliser sous nos yeux par divers végétaux soumis à l'action de composés différents, et qui a lieu encore pour les racines adventives des plantes qui en sont pourvues, ne permet-il pas de croire que la nature a élevé cette destruction par-

1. Sull' assorbimento delle radici..... Pise, 1859. Cité par M. Cauvet.

tielle des organes pour la conservation du sujet, à la hauteur d'une fonction physiologique?

De tous ces faits, nous concluons que l'excrétion des composés minéraux non assimilables par les plantes a lieu en partie, sinon en totalité, par les racines, que les fonctions des feuilles sont complétement étrangères à l'excrétion, mais qu'elles peuvent la produire quelquefois mécaniquement par leur mort et leur retranchement du végétal.

VU BON A IMPRIMER.
Le Directeur de l'École de pharmacie
BUSSY.

PERMIS D'IMPRIMER.
Le Vice-Recteur,
A. MOURIER.

TABLE

Paris. — Typographie Pillet fils aîné, rue des Grands-Augustins, 5

